



الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

بحث أعد لنيل درجة الماجستير في هندسة المواصلات والنقل

إعداد

المهندسة: نجود نادر

إشراف مشارك

الدكتور المهندس بسام حنا
أستاذ في قسم هندسة المواصلات جامعة
والنقل جامعة البعث

إشراف رئيسي

الدكتور المهندس مروان الخوري
أستاذ مساعد في قسم هندسة المواصلات
والنقل جامعة البعث

2020 م - 1441 هـ

Syrian Arab Republic
Al-baath University
Civil Engineering Faculty



Transportation Engineering Department

**The effect of using polypropylene fibers on producing
self-compacting high resistance concrete**

**Research prepared for master's degree in transportation
and transport engineering**

Preparation

Eng: Nujood Nader

Chief Supervisor

Dr.Ci.Eng : Marwan Al Khoury
Assistant professor in Transportation
Engineering Department
Al-Baath University

Involved Supervisor

Dr.Ci.Eng : Bassam Hanna
Professor in Transportation
Engineering Department
Al-Baath University

1441 - 2020



الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

السيد عميد كلية الهندسة المدنية المحترم

استناداً على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم / (214) د/المتخذ في الجلسة رقم / (7) د/ للعام الدراسي 2019/2020 المنعقد بتاريخ 2019/12/11 والخاص بتشكيل لجنة الحكم والمناقشة على رسالة الماجستير بعنوان :

" تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة "

لطالبة الدراسات العليا

م. نجود نادر

إشراف

أ.د.م. بسام حنا

د.م. مروان خوري

وبعد اجراء المناقشة العلنية بتاريخ 2020/2/25 وبعد الاطلاع على الاطروحة تبين أن الطالبة نجود نادر أجرت التعديلات المطلوبة وفق الملاحظات الموجهة من قبل لجنة الحكم وأصبحت الأطروحة جاهزة للنشر والتداول.

يرجى الاطلاع

رئيس لجنة الحكم

عضو لجنة الحكم

عضو لجنة الحكم

أ.د. منيب العلاف

د.م. مروان خوري

د.م. عبد القادر الجندي

رئيس قسم المواصلات والنقل

د.م. ممدوح عبارة



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الآداب والعلوم الإنسانية

٢٠١٩/١٢

٢٠١٩/١٢

الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة المدنية

تحية وبعد :

بناءً على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم / ٢١٤ / د المتخذ بالجلسة رقم

/ ٧ / د تاريخ ١١ / ١٢ / ٢٠١٩ م.

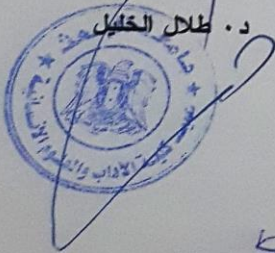
المتعلق بتعيين مدقق لغوي لرسالة الماجستير العائدة للطلبة نجود نادر بعنوان :

/ تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة /

فقد تم تدقيق الرسالة المذكورة وتصويب الأخطاء والهنات الموجودة فيها .

وتفضلوا بقبول فائق الاحترام

عميد كلية الآداب والعلوم الإنسانية



رئيس قسم اللغة العربية

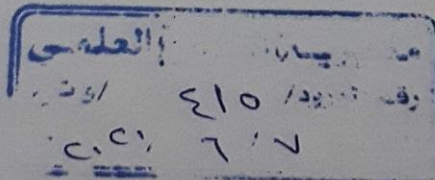
أ.د. عصام الكوسى

المدقق اللغوي

أ.د. رضوان القضايتي

Signature of Dr. Ridwan al-Qasbi

المكبر
كلية الآداب
جامعة البعث
٢٠١٩/١٢



تصريح

أصّرُح بأنّ هذا البحث " تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة " لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة , ولا هو مُقدّم حاليا" للحصول على شهادة أخرى .

اسم المرشحة

المهندسة نجود اديب نادر

تاريخ 25/2/2020

DECLARATION

This is to declare that, this work " The effect of using polypropylene fibers on producing self-compacting high resistance concrete" has been being submitted concurrently for any other degree

Candidate name

ENG.Nujood Nader

Date :25/2/2020

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير
في الهندسة المدنية في جامعة البعث

This thesis has been submitted as a partial
fulfillment of the requirements for the degree of
master of civil engineering at the faculty of Civil
Engineering , Al-Baath University.

كلمة شكر

أود أن أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى جامعة البعث -كلية الهندسة المدنية , إلى جامعة الوادي الدولية الخاصة لاحتضانها لي ولعملي في مخابرها وتوفير كافة المواد والوسائل , كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير والامتنان العظيم لمد يد العون الكريمـة والمساعدة في الأبحاث الخاصة بهذا البحث إلى كل من الدكتور بسام حنا والدكتور مروان خوري لجهودهما الحثيثة التي قدماها في العمل على هذا المشروع .

list of contenents

فهرس المحتويات

الصفحة	العنوان	
1	ملخص	
3	قائمة الرموز والمصطلحات	
4	المقدمة	
4	الهدف البحث	
5	مخطط البحث	
الفصل الأول : (الدراسة النظرية المرجعية)		
القسم الأول		
البيتون ذاتي التوضع		
6	تعريف البيتون ذاتي التوضع	1-1-1
6	تاريخ البيتون ذاتي التوضع	2-1-1
7	خصائص البيتون ذاتي التوضع	3-1-1
8	استخدامات البيتون ذاتي التوضع	4-1-1
9	كيفية الحصول على البيتون ذاتي التوضع	5-1-1
11	اختبارات البيتون ذاتي التوضع	6-1-1
القسم الثاني		
البيتون العالي المقاومة		
16	مقدمة	1-2-1
16	تصنيف و استعمال البيتون العالي المقاومة	2-2-1
17	مواصفات البيتون العالي المقاومة	3-2-1
القسم الثالث		
الألياف		
19	مقدمة	1-3-1
20	تعريف ألياف البولي بروبيلين	2-3-1
22	فوائد استعمال ألياف البولي بروبيلين	3-3-1
القسم الرابع		
الإضافات		
24	تعريف	1-4-1
24	الاشتراطات العالمية المطلوبة عند استخدام الاضافات	2-4-1
24	أنواع الاضافات	3-4-1
25	الاضافات الكيميائية	1-3-4-1
26	الإضافات المعدنية	2-3-4-1
الفصل الثاني		
الدراسة المرجعية		
27	مقدمة	1-2
27	الأبحاث والدراسات السابقة	2-2
الفصل الثالث		

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

	الدراسة العملية	
31	المواد المستخدمة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة	1-3
38	تصميم الخلطة	2-3
39	الخلطات المنجزة	3-3
42	آلية الخلط	4-3
42	صب البيتون	5-3
44	معالجة البيتون	6-3
44	كسر العينات	7-3
47	صب عينات بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة بالحصويات المعاد تدويرها	8-3
	الفصل الرابع دراسة وتحليل النتائج	
49	قطر الانتشار	1-4
50	قابلية المرور	2-4
50	الثبات وقابلية الانفصال	3-4
51	مقاومة البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة	4-4
53	كلفة انتاج البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع	5-4
54	النتائج والتوصيات	
55	الملحق (1)	
	المراجع	

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الجدول
10	مكونات الخلطة البيتونية (وزناً وحجماً) لأنواع مختلفة من البيتون	(1-1)
14	متطلبات الطرق الأساسية لاختبار البيتون ذاتي التوضع وفقاً ل ERMCO	(2-1)
16	تصنيف البيتون حسب ACI363	(3-1)
20	الخواص النموذجية لمجموعة من الألياف	(4-1)
31	التحليل الكيميائي لنوعي الاسمنت	(1-3)
32	الصفات الفيزيائية والميكانيكية للمواد الحصوية	(2-3)
33	التحليل الكيميائي للمواد الحصوية المستخدمة	(3-3)
37	التركيب الكيميائي لمادة كربونات الكالسيوم شبه النقية	(4-3)
39	كميات المواد الداخلة في تركيب الخلطة	(5-3)
41	الكميات اللازمة لتشكيل خلطة بيتونية تحوي ألياف بولي بروبيلين	(6-3)
41	نتائج تجارب الخواص الريولوجية لعينات البيتون ذاتي التوضع الحاوية على ألياف بولي بروبيلين	(7-3)
45	نتائج اختبار العينات على الضغط على عمر ٢٨ يوم	(8-3)
46	نتائج اختبار العينات على الشد على عمر ٢٨ يوم	(9-3)
47	كميات المواد الداخلة في تركيب خلطة كميات المواد الداخلة بتركيب خلطة بيتونية تحوي حصويات معاد تدويرها	(10-3)
48	نتائج المقاومة على الضغط على عمر ٢٨ يوم للخلطات التي تحوي على حصويات معاد تدويرها	(11-3)
48	نتائج المقاومة على الشد على عمر ٢٨ يوم للخلطات التي تحوي على حصويات معاد تدويرها	(12-3)
53	كلفة إنتاج متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع	(1-4)
53	كلفة إنتاج متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة المدعم بالألياف	(2-4)

رقم الشكل	التوصيف	رقم الصفحة
(1-1)	المخطط الأولي لجسر Ritto Bridge في اليابان	6
(2-1)	كميات البيتون ذاتي التوضع المنفذة في اليابان بين عامي 1990 و2000	7
(3-1)	المميزات الاقتصادية للبيتون ذاتي التوضع	8
(4-1)	مكونات الخلطة البيتونية وزنا وحجما	10
(5-1)	تعيين قطر الانتشار بمخروط أبرامز	12
(6-1)	الأدوات المستخدمة في تجربة الانتشار	12
(7-1)	أبعاد العلبة L-BOX حسب المواصفات الأوروبية	13
(8-1)	التجهيزات المستخدمة في تعيين ثباتية البيتون بواسطة المنخل	14
(9-1)	المخروط والحلقة J	15
(10-1)	أبعاد القمع بشكل حرف V	15
(12-1)	ألياف تسليح بولي بروبيلين كشبكة مفتوحة	21
(13-1)	ألياف بولي بروبيلين ذات طول 6mm	21
(14-1)	ألياف بولي بروبيلين	22
(1-2)	برج Water Tower Place	28
(2-2)	برج Two Union Square	29
(3-2)	جسر Normandie في فرنسا	29
(1-3)	منحني التدرج الحبي للبحص العدسي	33
(2-3)	منحني التدرج الحبي للرمال المكسر	34
(3-3)	منحني التدرج الحبي للرمال الطبيعي	34
(4-3)	منحني التدرج الحبي للبحص المعاد تدويره	35
(5-3)	ألياف البولي بروبيلين	35
(6-3)	ملدن كيميائي	36
(7-3)	SBR	36

37	التدرج الحبي لمادة كربونات الكالسيوم شبه النقية	(8-3)
39	منحني التدرج الحبي للحصويات الداخلة بتركيب الخلطة	(9-3)
42	صب البيتون	(10-3)
43	صب القوالب الخشبية	(11-3)
43	جهاز كسر العينات على الشد	(12-3)
44	جهاز اختبار العينات على الضغط	(13-3)
45	العلاقة بين نسبة الألياف والمقاومة على الضغط	(14-3)
46	اختبار العينات على الشد بالانعطاف	(15-3)
46	العلاقة بين نسبة الألياف والمقاومة على الشد على عمر ٢٨ يوم	(16-3)
48	عينات البيتون ذاتي التوضع الحاوية على حصويات معاد تدويرها	(17-3)
48	مقارنة بين عينات البيتون التي تحتوي على حصويات معاد تدويرها بعد كسرها على الضغط وعينات من البيتون تحوي على حصويات طبيعية	(17-4)
49	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين وقطر الانتشار	(1-4)
49	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين وزمن الانتشار	(2-4)
50	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين وقابلية المرور	(3-4)
50	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين والثبات	(4-4)
51	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين والمقاومة على الضغط	(5-4)
52	العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين والمقاومة على الشد	(6-4)
52	العلاقة بين المقاومة على الشد وعلى الضغط للخلطة البيتونية التي تحوي ألياف بولي بروبيلين على عمر 28 يوم	(7-4)

تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

الملخص:

إنَّ البيتون ذاتي التوضع هو بيتون ذو قابلية عالية على الجريان ، بإمكانه الانتشار بسهولة وملء القالب دون الحاجة إلى أي أعمال رج ميكانيكية. وبشكل عام فإنَّ استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد يمكنه أن يخفض من زمن التشييد بالإضافة إلى تخفيض التلوث البيئي. لقد تم في هذا البحث دراسة كيفية إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام ألياف البولي بروبيلين وإجراء التجارب المخبرية اللازمة وتصميم الخلطات باستخدام نسب ماء إلى اسمنت $W/C=0.3$ كما تمَّ تصميم خلطات أخرى من البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف ومقارنة النتائج التي حصلنا عليها لكلا النوعين من البيتون.

تم تصميم خلطات بيتون ذاتي التوضع بنسبة ماء إلى اسمنت $W/C=0.3$ وبنفس نسب الملدن (3%) من وزن الاسمنت للخلطات المرجعية ولبقية الخلطات وباستخدام صنفين من الاسمنت (32.5) و (42.5). أما نسب الألياف كانت (0-0.5-1-1.5)% من وزن الاسمنت.

أجرينا تجارب البيتون ذاتي التوضع حيث كانت نتائج تجربة قطر الانتشار تتراوح بين (45-65) cm وزمن الانتشار t_{50} بين (3-8) أما تجربة القمع V-Funnel فكانت تتراوح بين (4-8) ونسبة H_2/H_1 (تجربة) L-BOX تتراوح بين (0.65-0.87) وتجربة الثباتية بواسطة المنخل بين (12.5-17.5). ثمَّ تم إجراء تجربة مقاومة الضغط للعينات البيتونية المختبرة وكانت قيم هذه المقاومة (41.8-58) للخلطات المرجعية و (58-64.5-71.3-55.6) وأيضاً أُجريت تجربة الشد بالانعطاف للعينات البيتونية المختبرة وكانت النتائج (16.4-17.5-18.5-17.8) للخلطات التي تحوي على ألياف البولي بروبيلين بنسب (0-0.5-1-1.5)% على التوالي .

بينت النتائج أنَّ المقاومة على الضغط والمقاومة على الشد تزداد مع زيادة نسبة الألياف حتى النسبة (1)% من وزن الاسمنت ثم بدأت تنخفض المقاومة مع زيادة نسبة الألياف بنسبة أكبر من (1)% من وزن الاسمنت.

كما تمَّ حساب كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة المدَّعم بالألياف ومقارنتها مع كلفة إنتاج البيتون البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف، وكانت الكلفتين متقاربتين .

الكلمات المفتاحية :

البيتون ذاتي التوضع - ألياف البولي بروبيلين - البيتون عالي المقاومة.

The effect of using polypropylene fibers on producing self-compacting high resistant concrete

Abstract:

The Self Compacting Concrete (SCC) is a high flowable concrete, which has the ability to flow easily and fill the formwork without any need of mechanical compaction. Using the SCC in construction has many benefits, such the reduction of the construction time and the environmental pollution.

Self-Compacting Concrete mixturs are designed with the same ratio of water to cement $W/C=0.3$ and with the same percentage of super plasticizer used was the proportion (3)% of cement weightfor the reference mixtures and for the rest of the concrete mixtures, using two classes of cement (32.5) and (42.5). As for the fiber percentages, it was (0-0.5-1-1.5) % of the cement weight.

Self-Compacting experiments were conducted and the values of slump of between (3–8) second, time $v - (scc.)$ ranging between (45–65)cm , time of t50 cm funnel test ranged between (4–8) second and the percentage of H_2/H_1 to L – Box test where (0.65 – 0.87). The values of compressive strength cubes of concrete ranging between (41.8to 58)Kg/cm² for the mixture of reference for the ages (28) days , the values of compressive strength of mixtures of self – compacting concrete were (58- 64.5 -71.3 -55.6)Kg/cm² , the values of tensile strength of mixtures of self – compacting concrete were (16.4 -17.5 -18.5 -17.8) for mixturs containing PP fibers at rates of (0 , 0.5 , 1 , 1.5) % respectively.

The results showed that the compressive strength and tensile strength increases with increasing the proportion of fibers to the relative (1) % of the cement weight, and began to reduce the resistance with the increase in the proportion of fibers by more than (1) % of the cement weight.

A comparison study between the SCC (with PP fibers) and SCC in terms of the cost of the production has been included and shows almost equal cost for the compared types of concrete.

Keywords:

Self-Compacting Concrete (SCC)- High resistant concrete (HRC) - Polypropylene fibers (PP) .

قائمة الرموز والمصطلحات :

Self Compacting Concrete (SCC)	البيتون ذاتي التوضع
High resistance concrete (HRC)	البيتون العالي المقاومة
American Society for Testing and Materials (ASTM)	الجمعية الأمريكية لاختبار المواد
American Concrete Institute (ACI)	المعهد الأمريكي للبيتون
Slump Flow (SF)	قطر الانتشار
Passing Ability (PA)	قابلية الجريان
Bleeding	نزف
Segregation Resistance (SR)	مقاومة الانفصال
T500	الزمن اللازم لانتشار البيتون بقطر ٥٠٠ مم
Visual Stability Index (VSI)	مؤشر الثبات المرئي
Cement(c)	إسمنت
Medium gravel (MG)	بحص متوسط الخشونة
Water Cement Ratio (W/C)	نسبة الماء إلى الإسمنت
Super plasticizer (SP)	ملدن
Crushed Sand (Cr.sand)	رمل مكسر
Natural Sand (Nat.sand)	رمل طبيعي
Polypropylene Fibers	ألياف البولي بروبيلين
Steel Fibers	ألياف فولاذية
Glass Fibers	ألياف زجاجية
Workability	قابلية التشغيل
Compressive strength	المقاومة على الضغط
Tensile strength	المقاومة على الشد

المقدمة :

يعد البيتون الاسمنتي مادة الإنشاء الأولى في يومنا هذا و يعود الفضل في ذلك إلى الإمكانيات العديدة التي يقدمها البيتون و التي تميزه عن غيره من مواد البناء الأخرى كسهولة و غزارة الإنتاج و المرونة الممنوحة في التنفيذ علاوة على الصلابة العالية و الديمومة للعناصر البيتونية و غير ذلك من المميزات الهامة. و مع ازدياد المتطلبات العمرانية و البيئية عالمياً كان لا بدّ من تطوير متتابع للمواد المستخدمة في مجال الإنشاء وخاصةً في ما يتعلق بصناعة البيتون حيث سعت الأبحاث و الدراسات لإنتاج خلطات بيتونية متقدمة ذات مواصفات تشغيلية و مقاومات عالية لمواكبة هذا التطور و تلبية الرغبات الإستثمارية و البيئية في آن معاً، ما نتج عنه على سبيل المثال لا الحصر الوصول إلى إنتاج البيتون ذاتي التوضع (Self-Compacting Concrete) والبيتون عالي المقاومة (High Strength Concrete) وغير ذلك من أنواع أخرى.

إنّ استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد قد ازداد بصورة مطردة في السنوات الأخيرة كبديل عن استخدام البيتون العادي وذلك لقابلية التشغيل العالية التي يتميز بها دون حدوث أي انفصال أو نزف وملء الفراغات مهما كانت كثافة التسليح بالإضافة إلى الميزات الأخرى التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي فهو يؤمن بيتون ذو جودة عالية مع تخفيض في تكاليف التشييد المتعلقة بالعمالة اللازمة لصب البيتون ورج البيتون بالإضافة إلى التخفيض من الآثار البيئية الناجمة عن عملية رج البيتون والتخفيض من الزمن اللازم لأعمال التشييد وغيرها.

في هذا البحث سنقوم بدراسة تأثير استخدام ألياف البروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة تصل مقاومته المميزة في عمر 28 يوم إلى ما لا يقل عن 50 MPa وما فوق ، ودراسة و تحديد مختلف العوامل و المتغيرات لهذه الغاية و الطرق الواجب اتخاذها لتحسين هذه المقاومة والمقارنة بين البيتون ذاتي التوضع العالي المقاومة المدّعم بالألياف والبيتون ذاتي التوضع من الناحية الاقتصادية .

الهدف من البحث :

مع التقدم العلمي والتكنولوجي وتنوع المنشآت الهندسية من حيث الأهمية والخصوصية لم يعد البيتون العادي ذو المقاومة (20) ميغاباسكال يلبي حاجة المنشآت الهندسية المتزايدة يوماً بعد يوم من حيث نوعيتها وأهميتها وبدأ البحث عن تقنيات وأساليب نوعية لتجهيزات البيتون فوجد البيتون العالي المقاومة و البيتون العالي الأداء والبيتون المنفذ بالمداحل والبيتون المنفذ تحت الماء والبيتون الكتيم الخ . ويعد البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة أحد أهم أنواع البيتون لما يتصف به من صفات هامة تميزه عن غيره من الأنواع الأخرى المعروفة .

ويهدف البحث إلى:

* استخدام ألياف البولي بروبيلين لإنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة :

وذلك عن طريق دراسة تأثير العوامل التالية:

- الألياف (البولي بروبيلين).

- استخدام أنواع مختلفة من الحصويات (حصويات مكسرة - حصويات معاد استخدامها) .

- استخدام أنواع مختلفة من الإضافات :

- الإضافات الكيميائية عالية الجودة مثل ملدنات الجيل الثالث كاربوكسيليك أسيد

ASTM C 494 Type (F ,G) والإضافات عالية الأداء

- أنواع الاسمنت (الصنف 32.5 والصنف 42.5) .

* إجراء عملية مقارنة بين البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة والمدعم بالألياف مع البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف.

و تكمن أهمية البحث من خلال:

* تحقيق جدوى اقتصادية فنية ومعرفة النسب المثالية الواجب إضافتها لتحقيق خلطات مثالية ومعرفة

مكوناتها ووضع معايير للمقارنة مع أنواع البيتون الأخرى وذلك بسبب تعدد العوامل والمواد المضافة .

* تحقيق خلطات متجانسة وذات قابلية تشغيل عالية وديمومة طويلة ومقاومة لاتقل عن 50 MPa .

* الحصول على مقاومة مبكرة جيدة وتخفيض في زمن التصنيع والصب والمعدات المستخدمة, إضافة إلى

تحقيق اقتصادية في المنشآت الهامة (كالأبراج العالية) التي تتطلب قابلية تشغيل عالية لتسهيل عملية

الصب بالصّخ بالإضافة لمقاومة وديمومة عاليتين.

مخطط البحث:

تم تنظيم البحث بصياغة مقدمة عامة عن البحث , بالإضافة لأربعة فصول تتضمن مايلي :

الفصل الأول : يتضمن (الدراسة النظرية) وللسهولة تم تقسيمها إلى أربعة أقسام:

القسم الأول : يتضمن التعريف بالبيتون ذاتي التوضع والتطور التاريخي له وخصائصه واستخداماته وكيفية الحصول عليه ومجموعة الاختبارات الاساسية له.

القسم الثاني : يتضمن التعريف بالبيتون عالي المقاومة واستخداماته ومواصفاته.

القسم الثالث : يتضمن التعريف بألياف البولي بروبيلين ومميزاتها وفوائد استعمالها .

القسم الرابع : يتضمن التعريف بالإضافات الكيميائية والمعدنية وشرح مفصل عن أنواعها ومبدأ عملها .

الفصل الثاني : الدراسة المرجعية (الأبحاث السابقة التي تمت بهذا الموضوع).

الفصل الثالث : (الدراسة التجريبية) وتتضمن تصميم الخلطة البيتونية وخصائص المواد الداخلة في تركيبها والتجارب المخبرية المنجزة.

الفصل الرابع : دراسة وتحليل النتائج

الفصل الأول

(الدراسة النظرية)

القسم الأول

البيتون ذاتي التوضع

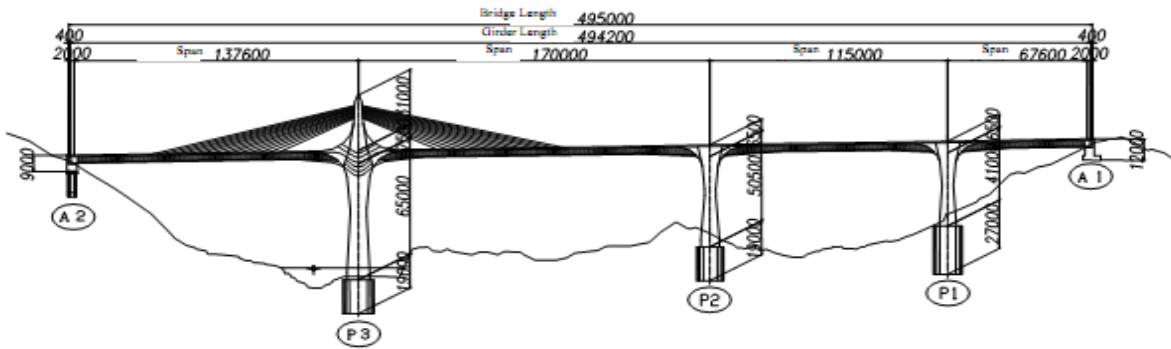
1-1-1- تعريف:

يُعرّف البيتون ذاتي التوضع (self compacting concrete) حسب المواصفات الأوروبية SN EN206-1 في الحالة الطرية: بأنه بيتون سائل لزج متماسك يمكن وضعه في القالب تحت تأثير وزنه الذاتي دون أدنى رج مسبق مهما كان شكل القالب ومهما كانت كثافة حديد التسليح به دون أن يتعرض إلى ظاهرة الانفصال والنزف . وفي الحالة الصلبة : يعطي درجة اكتناز وديمومة عاليتين , أمّا مقاومته الميكانيكية فهي تتوقف على مركباته الأولية وكمية ماء الجبل البدائية .

1-1-2- تاريخ البيتون ذاتي التوضع:

تمّ التفكير بهذا النوع منذ استخدام البيتون الذي يتطلب رجا أو رصاً قليلاً في أوروبا في أوائل السبعينات ولم يطور حتى أواخر الثمانينات في اليابان حيث استخدم عند إنشاء جسر Ritto Bridge والذي صمم لمقاومة حمولات الزلازل كثيرة الحدوث في تلك المنطقة من العالم حيث استخدم هذا البيتون في صب قواعد الجسر البعيدة والعميقة والتي كان يصعب الوصول إليها والتعامل معها بالتكنولوجيا التقليدية المعروفة .

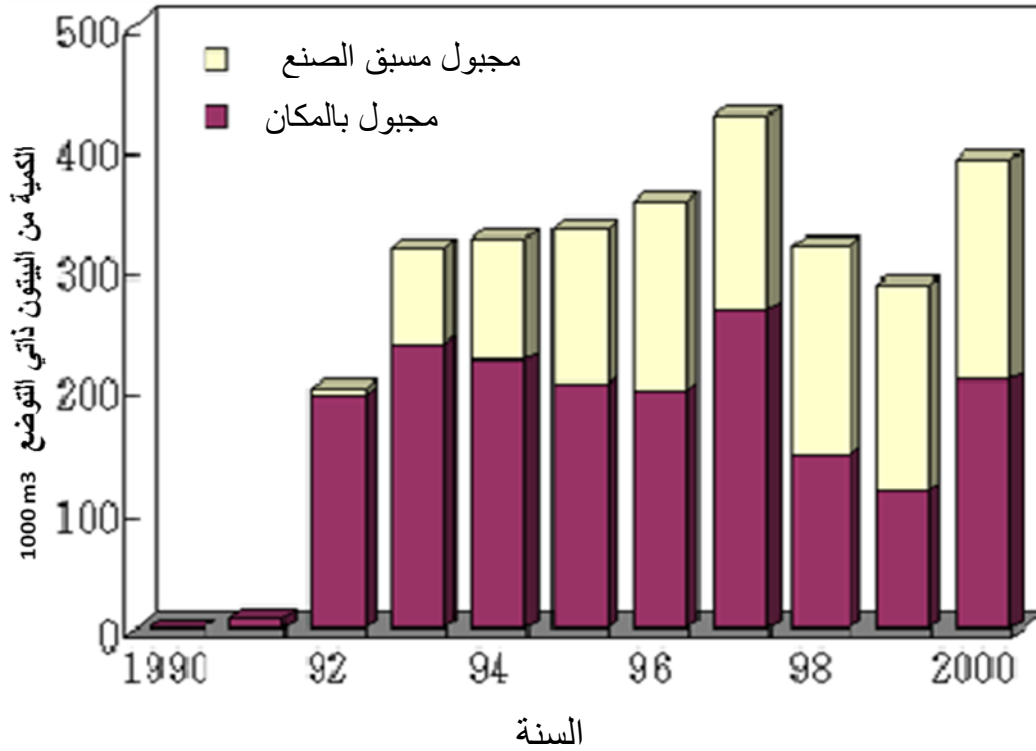
يبين الشكل (1-1) مخططاً أولياً لأولى المنشآت الهامة في اليابان والتي شيدت باستخدام البيتون ذاتي التوضع SCC, ويظهر جلياً كبر المجازات المستخدمة حيث وصلت حتى 170m وارتفاع الجسر الذي تجاوز الـ 65m.



الشكل (1-1) المخطط الأولي لجسر Ritto Bridge في اليابان

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

وبسبب جدوى استخدامه انتشر هذا البيتون في اليابان بكثرة إذ استعمل في إنشاء جسر Shin-Kiba و Ohashi ومنذ ذلك الحين استخدم في بناء الكثير من الجسور والمنشآت الأخرى الهامة في اليابان .
يبين الشكل (1-2) تطور كميات البيتون ذاتي التوضع المنفذة في اليابان في الفترة ما بين 1990 و 2000،
بيتون مسبق الصنع أو منفذ في المكان [1]



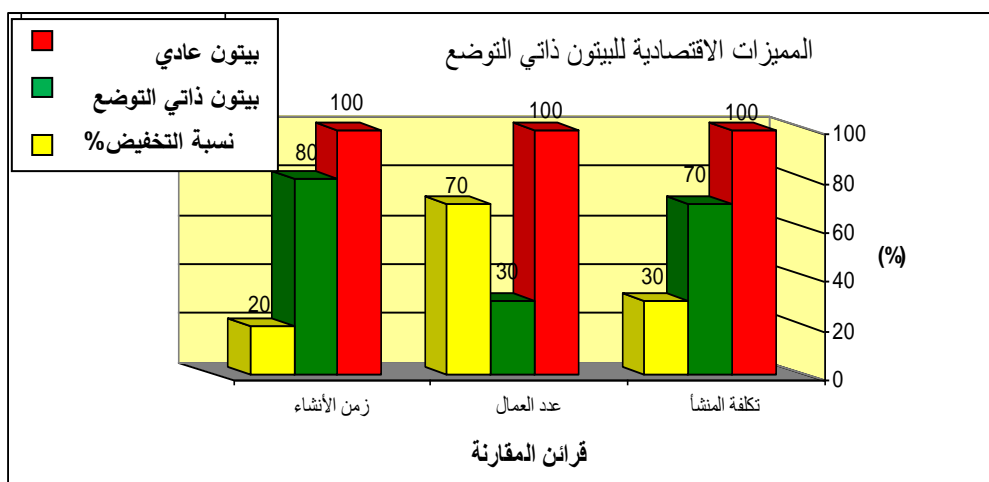
الشكل (1-2) كميات البيتون ذاتي التوضع المنفذة في اليابان في الفترة ما بين 1990 و 2000

1-1-3- خصائص البيتون ذاتي التوضع:

يتمتع البيتون ذاتي التوضع بخصائص مختلفة تجعل من استخدامه في عالم البناء تميّزاً من حيث الإنتاجية والنوعية، نذكر في هذا السياق:

- قابليته للجريان وتحقيق الامتلاء التام للقوالب مهما بلغت درجة تعقيد أشكالها وذلك تحت تأثير وزنه الذاتي فقط ودون الحاجة إلى الرج.
- القدرة على ملء الفراغات في شبكات التسليح مهما بلغت درجة كثافتها.
- مقاومته العالية لظاهرة انفصال الحصى والتي تحدث نتيجة للسيولة الزائدة للمزيج الإسمنتي.
- إنتاجية عالية ضمن مواصفات جيدة وبأقل زمن ممكن.
- توفير في اليد العاملة اللازمة لتنفيذ البيتون.
- تحسين في شروط العمل على كافة الصّعد، البيئية والصحية مع توفير الأمن والأمان للعاملين في المشروع.

- بين الشكل (1-3) ما توصل إليه الباحثان أوكامورا و أوشي في معهد البيتون في اليابان عام 2003 [2] إلى أن استخدام البيتون ذاتي التوضع في بناء جدار كبير تم إنشاؤه لصالح شركة غاز أوسكا أدى إلى:
- انخفاض تكلفة المنشأ بنسبة حوالي 30%.
 - انخفاض عدد العمال من 150 إلى 50 أي بنسبة 70%.
 - انخفاض مدة الإنشاء من 22 شهر إلى 18 شهر أي بنسبة 20% [2].



الشكل (1-3) المميزات الاقتصادية للبيتون ذاتي التوضع

1-1-4- استخدامات البيتون ذاتي التوضع :

- بمقارنة البيتون ذاتي التوضع مع البيتون العادي المنفذ بالرج تظهر للبيتون ذاتي التوضع فوائد كثيرة تميزه عن غيره نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:
- استخدام البيتون ذاتي التوضع في العناصر الإنشائية ذات التسليح الكثيف وغير المتجانس.
 - لا حاجة لرج هذا البيتون في أثناء الصب مما يقلل من الضجيج الناتج عن هذه العملية ويقلل من اليد العاملة والآليات اللازمة لذلك .
 - استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ العناصر الإنشائية التي تحتاج سطوحها الى كتامة واستوائية عاليتين.
 - استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ العناصر الإنشائية المسبقة الصنع (جيزان الجسور).
 - استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ المنشآت ذات الأشكال المعقدة إنشائيا و التي يمكن أن تحوي على زوايا حادة .
 - استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ عناصر ذات طابع معماري حيث يعطي استوائية ممتازة للسطوح الخارجية ومن ثم نهايات متقنة للأعمال البيتونية .
 - إمكانية استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ عناصر إنشائية شاقولية من الأسفل ومن الأعلى.

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

- تقليل حركة الآليات و الجبالات و المضخات و ذلك بفضل إمكانية الصب لمسافات قد تصل إلى 15m دون تغيير موقع الأنبوب.
- يستخدم في إنشاء العديد من المنشآت الخاصة مثل خزانات المياه والمواد السائلة .
- استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ العناصر الإنشائية الرقيقة
- استخدام البيتون ذاتي التوضع في تنفيذ بعض المنشآت الخاصة (أنفاق . منشآت أرضية ... الخ) [4].
- قابلية الضخ الجيدة والتي توفرها اللزوجة العالية للبيتون وهو ما يساعد في حدوث جريان مستمر ضمن أنابيب الضخ .
- توفير الوقت واليد العاملة إذ يمكن أن تصل كمية البيتون المصبوب إلى حوالي أكثر من $70m^3/h$.
- ومن المشاريع الهامة التي استخدم فيها البيتون ذاتي التوضع برج المراقبة في مطار أيرلندا و برج دبي (الإمارات العربية المتحدة) وغيرها. [4]

1-1-5- كيفية الحصول على البيتون ذاتي التوضع:

يتميز البيتون الذاتي التوضع في حالته الطرية بصفتين أساسيتين هما الجريان والتماسك، من الملاحظ أنّ تحقيق جريان كبير للبيتون الذاتي التوضع يتم عموماً باستخدام الملدنات عالية الجودة، ويتحقق التماسك بين جزيئاته (عدم انفصال المكونات) بزيادة كمية المواد الناعمة في الخلطة وإضافة محسنات للزوجة الخلطة. يتم رفع محتوى الخلطة من المواد الناعمة بزيادة كمية اسمنت الخلطة أو كمية الرمل المتحددة معها أو بإضافة الفيلر (المواد الناعمة) التي نحصل عليها من طحن بعض الصخور الكلسية أو من الرماد المتطاير Fly Ash أو هباب السيليس Silica Fume .

يسمح التدرج الحبي المثالي والفروقات القليلة بين أحجام الحصى بتأثير أفضل للإضافات وتحقيق فاعلية أكبر لها لأنّ التدرج الحبي الجيد يؤمن الحصول على بيتون ذاتي التوضع بعيار اسمنت أقل وبكمية أقل من الإضافات المحسنة لمواصفات الخلطة.

كما يجب التدقيق في قابلية جريان البيتون الذاتي التوضع عند الصب في موقع العمل. إن الطقس الحار ومسافة نقل المجهول الكبيرة وتأخير الصب في الموقع تسبب نقصاً في الجريان وتقلل من مزايا وجودة البيتون ذاتي التوضع. ومن الملاحظ أن إضافة الماء إلى البيتون الذاتي التوضع في موقع العمل ليس له التأثير المتوقع على زيادة الجريان بل أنه قد يسبب مشاكل لتماسك الخلطة. [5]

من أجل تأمين اللزوجة والسيولة العاليتين للبيتون ذاتي التوضع، من جهة، ومن جهة أخرى، ثباتيته العالية التي تؤمن له الديمومة العالية، فإنّ الطرق التقليدية المعروفة في تركيب الخلطات البيتونية للبيتون العادي مثل طريقة فولير-تومسون، ودوروكس، وبولومي وغيرها غير ملائمة لإنتاج بيتون ذاتي التوضع إذ أن مواصفات البيتون ذاتي التوضع تتطلب نعومة أكبر وكمية أعلى من النواعم وإنّ التدقيق في الخلطات

المعتمدة في بعض دول العالم التي تعتمد في منشآتها هذا النوع من البيتون كاليابان والولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا , نجد أنّ هذه الخلطات لها صفات خاصة وهذا ماتوصي به المؤسسة الفرنسية للهندسة المدنية (AFGC): [5] [6] [7]

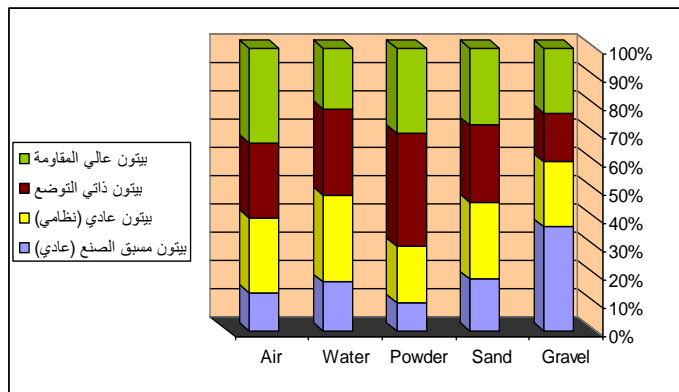
- كمية عالية من العجينة الإسمنتية تصل حتى 40% من الحجم الكلي للخرسانة.
 - كمية عالية من المواد الناعمة (Fillers + Cement) تصل حتى 500 kg/m^3 .
 - استخدام ملدن عالي الجودة بكفاءة عالية وبكمية منه تصل إلى نقطة الإشباع.
 - كمية منخفضة من الحصىات وبحيث يكون $\text{Gravel/Sand} = G/S \leq 1$.
 - قطر أعظمي للحصىات منخفض ولا يتعدى 14 mm.
- أما المواصفات الأوروبية [3] (ERMCO) فتتضمن بعض التوصيات وفق ماورد في الجدول (1-1) :
- الجدول(1-1) : مكونات الخلطات البيتونية (وزناً وحجماً)**

المكونات	الكميات kg/m^3	الكميات l/m^3
مواد ناعمة (اسمنت + إضافات معدنية)	380-600	
عجينة إسمنتية	-	300-380
ماء	150-210	150-210
حصىات خشنة	750-1000	
حصىات ناعمة (رمل)	تشكل حوالي (48-55%) من الوزن الكلي للحصىات	
W/F+C (حجماً)	-	0.85-1.1

تختلف مكونات الخلطات البيتونية للبيتون ذاتي التوضع عن تلك المستخدمة في الأنواع الأخرى من البيتون

المعتمدة في الصناعة في بعض البلدان الأمريكية والأوروبية واليابان بما يلي وكما يبين الشكل (4-1) . [5]

- ارتفاع كمية النواعم (الاسمنت والبودرة).
- ارتفاع كمية الرمل وانخفاض كمية البحص.
- استخدام معدلات لزوجة أحياناً.



الشكل (4-1) مكونات الخلطات البيتونية (وزناً وحجماً)

تختلف تصاميم الخلطات المنتجة للبيتون ذاتي التوضع باختلاف صفات المواد الداخلة في تركيبه من مواد حصوية واسمنت وماء وإضافات كيميائية وكذلك تختلف الخلطة حسب متطلبات كل مشروع وأهميته، فعلى سبيل المثال البيتون ذاتي التوضع الذي يستخدم في إنتاج البيتون الكتلي يمكن أن تصل أقطار حصوياته حتى 5cm أمّا نفس النوع من البيتون الذي يستخدم في شبكات حديد التسليح الكثيفة فتتراوح أقطار حصوياته في المجال [1 – 2 cm] . [5]

و تشير معظم الأبحاث أنه عند تصميم خلطة البيتون ذاتي التوضع يجب الأخذ بالنقاط التالية :

❖ اعتماد منحني حبي جيد التدرج يأخذ علاقة من الشكل $(\frac{d}{D})^n$ ($P\% = 100 * (\frac{d}{D})^n$) حيث :

• (D) : القطر الاعظمي لحبات الحصويات المعتمدة وبحيث يكون ($D \leq 16mm$) .

• (d) : القطر الموافق لنسبة مئوية مارة مقدارها ($P\%$) .

• (n) : وتتراوح قيمتها ما بين (0.30) و (0.35) .

❖ استخدام مضاف معدني بنعومة الاسمنت المستعمل كحد أدنى من الإضافات المعدنية المعروفة والمتوفرة محليا , ويفضل منها ما يملك الصفة البوزولانية.

• استخدام هباب السيليس (Silica Fume) بنسبة (3-6%) لتحسين المنحني الحبي للنوع

بالإضافة إلى أنها تملك صفة بوزولانية عالية .

❖ استخدام مضاف كيميائي عالي الأداء من النموذج (type G) أو (type F) بنسبة إضافة تعادل نقطة

الإشباع (Saturation point) وفقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C494) أو ما يماثلها ملائم للمضاف

المعدني المستخدم مع الإشارة إلى التوجه الآن باستخدام ملدنات الجيل الثالث من نوع (Carboxyl acid)

عندما يطلب بيتون ذاتي التوضع بمقاومة عالية.

❖ يتطلب أحيانا استخدام معدل لزوجة إلا أنّ استخدامه يتوقف على نوع الإضافات المستخدمة ومدى ملائمتها لبعضها البعض .

1-1-6- اختبارات البيتون ذاتي التوضع:

تميّز المواصفات الأوروبية (EN12350-1.2) بين مجموعتين من الطرق والاختبارات للبيتون ذاتي التوضع:

مجموعة أساسية ومجموعة أخرى اختيارية، بالإضافة إلى تجارب مشابهة تجرى على المونة الإسمنتية

المكافئة للبيتون ذاتي التوضع نبين فيما يلي هذه الاختبارات ومراحل إجراء كل منها:

1-1-6-1- مجموعة الاختبارات الأساسية:

1-1-6-1-1 اختبار الانتشار "قابلية التشغيل": تجرى هذه التجربة على البيتون ذاتي التوضع حيث

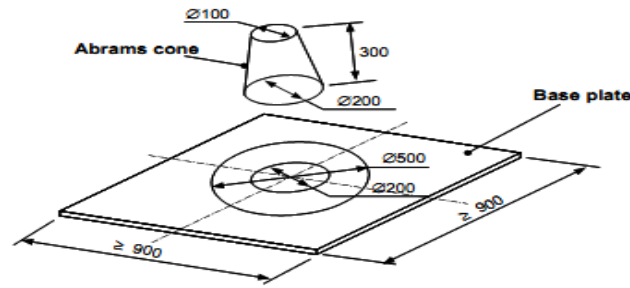
يستخدم في إجراء هذه التجربة مخروط أبرامز المعروف والذي يستخدم في قياس قابلية التشغيل في البيتون

الكلاسيكي مع الإشارة إلى أنّ الاختلاف هنا يكمن في قياس قطر انتشار العينة التي كانت بداخله بدلا من

قياس الهبوط الشاقولي لها كما هو معتمد في البيتون التقليدي، حيث يتم ملء المخروط بالكامل دون رص ثم يرفع ليقاس قطر انتشار البيتون .
والشكل الآتي يبين مخططاً للأدوات المستخدمة في التجربة :



الشكل (1-5) تعيين قطر الانتشار بمخروط أبرامز



الشكل (1-6) الأدوات المستخدمة في تجربة الانتشار

حيث تنص المواصفات العالمية على أخذ قياس قطر الانتشار للعينة باتجاهين ويجب أن يكون الناتج الوسطي لهما محصوراً في المجال (650-800mm) ويبين الشكل (1-5) التالي كيفية تعيين قطر الانتشار للبيتون ذاتي التوضع.

$$650 \text{ mm} < \frac{D1 + D2}{2} < 800 \text{ mm}$$

كما يتم تعيين الزمن T500 وهو الزمن اللازم للوصول إلى قطر انتشار 50cm مقدراً بالثانية.

1-1-6-2- اختبار الجريان ضمن العلبة (L- Box) :

يهدف هذا الاختبار إلى التحقق من جريان البيتون ضمن شبكة التسليح بشكل جيد يسمح لنا بإطلاق تسمية ذاتي التوضع عليه بحيث يتم هذا الجريان تحت تأثير وزنه الذاتي وبدون استخدام الرج بالآليات المعروفة أو حتى الرج اليدوي ، ويبين الشكل (1-8) أبعاد وشكل العلبة المستخدمة في الاختبار .

نقيس في هذه التجربة النسبة h_2/h_1

حيث : h_1 : ارتفاع البيتون بعد الجريان في بداية العلة .

h_2 : ارتفاع البيتون بعد

الجريان في نهاية العلة .

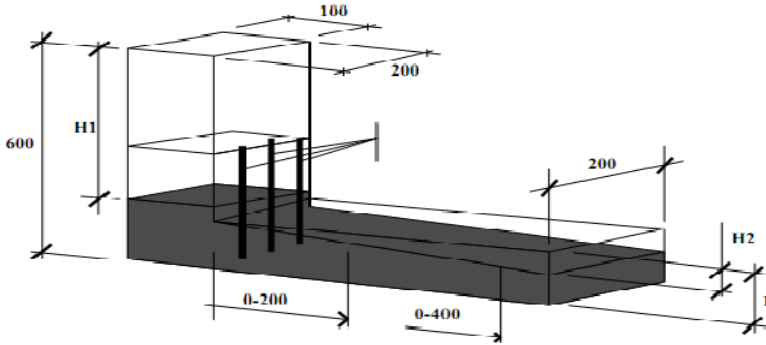
وكلما اقتربت هذه النسبة من الواحد دل

ذلك على تحقيق النجاح المرجو في

هذه التجربة ولكن المواصفات العالمية

تقبل بالنسبة 0.8 لمقاربة التوصل

إلى صناعة البيتون ذاتي التوضع .



الشكل (7-1) أبعاد العلة L- BOX حسب المواصفات الأوربية (EN 12350-1.2)

1-1-6-3- اختبار تعيين ثباتية البيتون بالمنخل :

اختبار تعيين ثباتية البيتون في المنخل وهو يهدف إلى التحقق من عدم حدوث ظاهرة انفصال الحصى حيث تكون أوزان الحصى المستخدمة أكبر من قوى الترابط فيما بينها والتي يمنحها لها الملاط الإسمنتي لذلك تهبط نحو أسفل القالب تحت تأثير وزنها الذاتي بينما يتجمع الملاط الإسمنتي فوقها وتشكل الطبقتان في هذه الحالة مزيجاً غير متجانس و لا متماسك مما يؤثر سلباً على مواصفات البيتون الطري والمتصلب أيضاً وتنص المواصفات العالمية على أنه عند إجراء هذه التجربة يجب أن يكون البيتون المستخدم فيها محققاً للنتائج التي يجب التوصل إليها في التجريبتين السابقتين .

- الأدوات اللازمة لإجراء التجربة :

- وعاء معدني أو من البلاستيك بسعة 10 - 12 l من البيتون الطري.
- منخل بقطر 30 cm ذو فتحات 4.75mm .
- قعر للمنخل.
- ميزان دقة 5g واستطاعة 20kg .

طريقة إجراء التجربة :

نضع كمية من البيتون (حوالي 5kg) على المنخل ذي الفتحة (4.75mm) ويترك لمدة خمس دقائق ثم يتم وزن الملاط المار (بتأثير وزنه الذاتي دون أي قوى خارجية مؤثرة) .
نحسب النسبة بين وزن الملاط المار إلى وزن العينة الكلي (5kg) لنحصل على قيمة الاستقرار المسموحة والتي تعطى بالشكل الآتي :

$$SR = P/P$$

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

حيث : P` كمية الملاط المار من المنخل الذي فتحته 4.75mm
P كمية البيتون على المنخل 4.75mm
وتعطى حدود قيم SR كما يأتي :

استقرار مقبول	$0 \% < SR < 15 \%$
استقرار حدي حرج	$15 \% < SR < 30 \%$
استقرار سيئ مرفوض	$30 \% < SR$



الشكل (1-8) التجهيزات المستخدمة في تعيين ثباتية البيتون بواسطة المنخل

- ونبين في الجدول (1-2) متطلبات الطرق الأساسية لاختبار البيتون ذاتي التوضع وفقاً لـ ERMCO [3] لعام 2005 مع مجال استخدام كل منها الأكثر ملائمة :

الجدول (1-2) متطلبات الطرق الأساسية لاختبار البيتون ذاتي التوضع وفقاً لـ ERMCO

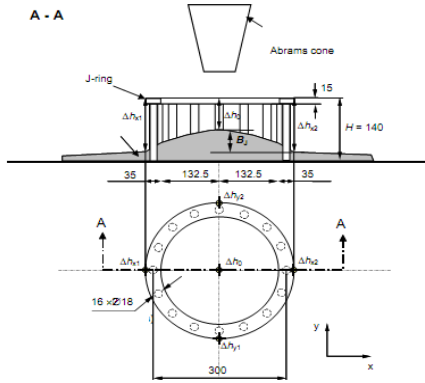
طريقة الاختبار	المواصفات	التصنيف	مجال الاستخدام
قطر الانتشار بمخروط أبرامز	سيولة البيتون	SF1 = 55-65 cm SF2 = 66-75 cm SF3 = 76-85 cm	البلاطات الجدران والأعمدة والعناصر الشاقولية العناصر ذات التسليح الكثيف غير المتجانس وذات الشكل المعقد
الزمن الموافق لقطر الانتشار 50 cm (tD50)	اللزوجة	VS1 ≤ 2 sec VS2 = 3-5 sec VS3 = 5-7 sec	العناصر ذات التسليح الكثيف والشكل المعقد العناصر الشاقولية العناصر الأخرى
الصندوق ذو الشكل L	تجانس جريان البيتون	PA1 ≥ 0.80 وجود قضيبين PA1 ≥ 0.80 وجود ثلاثة قضبان	الأبنية السكنية المنشآت الهندسية
المنخل لتعيين ثباتية البيتون	الانفصال	SR1 ≤ 20 % SR2 ≤ 15 %	جريان منخفض دون 5m جريان مرتفع أعلى من 5m

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

1-1-6-2- مجموعة الاختبارات الاختيارية:

1-1-6-2-1- اختبار الجريان بالمخروط والحلقة J :

يهدف اختبار الحلقة J إلى دراسة كل من قابلية الملء والممرور للبيتون ذاتي التوضع . تقيس طريقة الحلقة J ثلاث مقاييس : الانتشار نتيجة السيلان ، زمن السيلان T_{50} (اختياري) وخطوة الإعاقة . يشير الانتشار بالسيلان في الحلقة J إلى قابلية التشوّه المقيّدة للبيتون ذاتي التوضع نتيجة لتأثير الإعاقة لقضبان التدعيم بينما يشير الزمن T_{50} إلى معدل التشوّه ضمن مسافة انسياب محددة. بينما تحدد خطوة الإعاقة تأثير الإعاقة نتيجة القضبان .



يتم قياس أكبر قطر للانتشار بالسيلان d_{max} والقطر العمودي عليه d_{perp} باستخدام المسطرة (القراءة إلى أقرب 5mm)

التعبير عن النتائج :

-يمثل الانتشار بالسيلان للحلقة J المتوسط الحسابي للقطرين d_{max} و d_{perp} كما توضح المعادلة التالية حيث يعبر عن S_r بالـ mm إلى أقرب 5mm

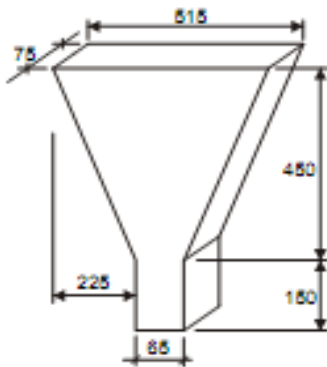
$$S_J = \frac{(d_{max} + d_{perp})}{2}$$

الشكل (9-1) المخروط والحلقة J

و اعتمادا على الاختبارات الخاصة بالمشروع الأوروبي "اختبار البيتون ذاتي الرص"

$$600 < S_r < 750 \text{ (mm)}$$

- زمن السيلان وفق اختبار الحلقة J (T_{50}) يمثل الفترة الزمنية بين اللحظة التي ينفصل فيها القمع المخروطي عن الصفيحة القاعدية واللحظة التي يلامس فيها البيتون لأول مرة الدائرة ذات القطر 500mm يعبر عن T_{500} بالثواني إلى أقرب عشر من الثانية و اعتمادا على الاختبارات الخاصة بالمشروع الأوروبي "اختبار البيتون ذاتي التوضع" ($3.5 < T_{500} < 6 \text{ (sec)}$)



1-1-6-2-2 القمع V (V Funnel) :

إنّ زمن السيلان عبر القمع V هو الفترة الزمنية اللازمة لممرور حجم محدد من البيتون الذاتي التوضع عبر فتحة ضيقة وهي تشير إلى قابلية الملء التي يتمتع بها البيتون ذاتي التوضع بشرط عدم حدوث أي انفصال و/أو انسداد . ويمكن القول أنّ زمن السيلان في اختبار القمع V يتعلق بدرجة ما باللزوجة اللدنة للمادة .

الشكل (10-1) : أبعاد القمع بشكل حرف V

القسم الثاني

البيتون العالي المقاومة

1-2-1- مقدمة :

بدأ تطور البيتون عالي المقاومة منذ بداية الستينات حيث كانت مقاومة البيتون من 15-20Mpa و كان من المستبعد وقتئذ أن يحل البيتون محل الفولاذ في بناء ناطحات السحاب .

و قد كانت البداية في شيكاغو عام 1960 ، حيث كانت تضاف كميات كبيرة من الاسمنت للحصول على مقاومة أعلى ، و ذلك لأن الاسمنت لم يكن غالي الثمن ، و برفع المقاومة استطاع المهندس تصغير مقطع الأعمدة و زيادة ارتفاعها .

1-2-2- تصنيف واستعمال البيتون العالي المقاومة :

1-2-2-1- تصنيف البيتون عالي المقاومة :

تصنف الهيئة الخاصة في البيتون في المعهد الأمريكي للبيتون ACI 363 البيتون بخمسة أصناف وفقاً للجدول (3-1) : [8]

الجدول (3-1) تصنيف البيتون حسب ACI 363

مقاومة الضغط Mpa	50	75	100	125	150
صنف البيتون عالي المقاومة	I	II	III	IV	V

إنّ البيتون عالي المقاومة يسمح للمصمم بإنشاء أبنية أكثر ارتفاعاً ، و للمعماري بتصميم بلاطات أقل سماكة و أعمدة أصغر مقطعاً و أطول ارتفاعاً في ناطحات السحاب مما يعطي جمالية أكثر لهذه التصاميم . [8]



الشكل (11-1) استعمال البيتون العالي المقاومة

و باستعمال البيتون عالي المقاومة يمكن فك الكوفراج بشكل أسرع ، وتقليل كمية فولاذ التسليح في الأبنية العالية مما يخفض من الحمولة الميتة فيها .

و يعتمد الخيار النهائي في استعمال مادة معينة في البناء بشكل أساسي على العامل الاقتصادي. و مع أنّ الميزات المختلفة للبيتون عالي المقاومة توفر فوائد أكثر مما في البيتون العادي ، إلا أنّه توجد و ستوجد دوماً حالات يكون فيها استعمال البيتون بمقاومة 20 - 30 Mpa هو الحل الأمثل للعديد من المتطلبات . و لن يلغي تطور البيتون عالي المقاومة استعمال البيتون العادي [8].

1-2-3- مواصفات البيتون العالي المقاومة :

لم يبد منتجوا الاسمنت اهتماماً كبيراً لإنتاج اسمنت بمواصفات خاصة من أجل صنع البيتون عالي المقاومة لأنّ هذا البيتون لا يشغل إلا حيزاً صغيراً من سوق البيتون . و في الوقت نفسه فإنّ اختيار المواد الداخلة في تركيب البيتون عالي المقاومة ستحد منه دوماً لاعتبارات اقتصادية مقارنة بالبيتون العادي ، إلى أن تصبح تكاليف إنتاج البيتون عالي المقاومة صغيرة نسبياً [9]

ففي البيتون العادي يوجد الكثير من الماء الذي يتحكم بحالة العجينة الاسمنتية ، هذا الماء الذي يوجد في (العجينة الاسمنتية المحيطة بالحصويات) حول الحصويات الكبيرة يمثل الرابط في البنية المجهرية للبيتون و هو مكان بدء تحطم البيتون عند تعرضه للضغط .

1-2-3-1 مقاومة البيتون على الضغط :

تعتبر المقاومة على الضغط من أهم خواص البيتون عالي المقاومة و لكنّها ليست الوحيدة التي تميزه، و ترتبط هذه المقاومة بشكل كبير بالبنية المجهرية للبيتون التي تؤثر في الخواص الأخرى كالمرونة و النفوذية.



ينكسر البيتون العادي في القسم الأضعف من الأقسام الثلاثة التالية : المونة بين الحصويات أو الحصويات نفسها أو التماسك بين المونة والحصويات. ولرفع المقاومة على الضغط يجب الاهتمام بتقوية الأقسام الثلاثة معاً . و بالتالي يمكن أن نعتبر البيتون مادة غير متجانسة مؤلفة من ثلاث أقسام :

- ١ . العجينة الاسمنتية .
- ٢ . منطقة التماسك بين الحصويات و العجينة الاسمنتية .
- ٣ . الحصويات (التي يمكن أن تكون كريستالية كما في حالة الغرانيت) .

الشكل (1-1) استعمال البيتون العالي المقاومة

1-2-3-2- زيادة مقاومة العجينة الاسمنتية :

إنَّ مقاومة الأجسام على الضغط أكبر من مقاومتها على الشد ، لأنَّ المادة تتحطم في الشد نتيجة الانتشار السريع لشق بسيط في حين أنَّه تلزم العديد من الشقوق المتحدة ليحصل الانكسار في الضغط .
و القاعدة العامة تقول أنَّ مقاومة الضغط تقل عندما يزيد حجم المسامات ، و أنَّها تزيد حين يصغر حجم الحبيبات الحصوية .

و بالنتيجة يمكن تحسين مقاومة العجينة الاسمنتية المميَّهة بالأخذ بعين الاعتبار ما يلي :

١ . المسامية : اجتماع عدد كبير من المسامات أو الفراغات في نقطة معينة تنقص مقاومة المواد بشكل كبير .

٢ . حجم الحصى : بشكل عام ، تزيد مقاومة الحصىات عندما يقل حجم الحبيبات [9]

1-2-3-3- زيادة مقاومة التماسك :

إنَّ التماسك في البيتون العادي يتم عادة في الطبقة ذات سماكة بين 0.05 - 0.1 mm . و بالنتيجة حسب نظرية Weibull ، فإنَّ الشقوق تحدث في هذه الطبقة عندما يخضع البيتون لإجهادات متعددة .
إنَّ مقاومة الحصىات لا يمكن أن تلعب دوراً هاماً في مقاومة البيتون طالما أنَّه توجد مسامات كبيرة و شبكة من الشقوق في طبقة التماسك لأنَّ القليل جداً من الإجهادات المؤثرة على البيتون تنتقل من العجينة الاسمنتية إلى الحصىات .

نلاحظ عند تقوية سطح التماسك أنَّ مقاومة و خصائص مرونة الحصىات تصبح كبيرة و تؤثر على سلوك البيتون عندما يوضع تحت تأثير إجهادات متزايدة ، و لتقوية قسم التماسك و تقليل سماكته يمكن تخفيض النسبة ماء / الاسمنت و استخدام غبار السيليس .

و مما تقدم يمكن القول :

إنَّ البيتون عالي المقاومة هو بيتون ذو مسامية قليلة ناتجة عن الاستخدام القليل لماء الجبل بحيث أنَّه في القسم الرابط في البيتون فإنَّ حبيبات الاسمنت و الإضافات الاسمنتية تتقارب من بعضها البعض بشكل أكبر مما في البيتون العادي .

و كلما قلت مسامية العجينة الاسمنتية فإنَّ مقاومة البيتون تزيد طالما استخدمنا حصىات جيدة المقاومة . و خاصة الكبيرة منها . .

القسم الثالث

الألياف

1-3-1- مقدمة :

لم يعد تسليح الخرسانة للحفاظ عليها من التشقق أمراً جديداً، فحتى البلدان النامية اتجهت إلى استعمال الألياف الطبيعية لتقليل التشقق في الخرسانة. أصبح اليوم التوجه نحو استخدام الألياف المصنعة في تسليح الخرسانة في الأجزاء غير الانشائية (غير المعرضة للأحمال الانشائية) وأعطت نتائج جيدة، وحالياً أكثر أنواع التسليح المصنع شيوعاً هي الأسلاك الملحومة والشبكات الحديدية والألياف الفولاذية والألياف البوليمرية. إنّ الألياف المصنعة صغيرة الأقطار (نايلون، زجاج، حديد، بولي بروبيلين) تضاف للخرسانة لتقليل الانكماش لأكثر من ٨٠٪. وعليه فإنّ الألياف المصنعة تمنع حدوث التشققات في الخرسانة وبالتالي تقلل نفاذية الخرسانة وتزيد متانتها ومقاومتها للظروف الجوية. كما أنّ خواص الانضاج والإنهاء للخرسانة لا تتأثر بإضافة الألياف. وإنّ الألياف ذات الأقطار الكبيرة والتي تضاف بنسب عالية (0.5-1.5)% للألياف الحديدية والبوليمرية على التوالي تحسن مقاومة الشد على حساب الكلفة الاقتصادية. تستخدم ألياف التسليح بصورة رئيسية لتقليل التشقق وتوفير بالكلفة والوقت لتركيب التسليح العادي وتقلل النفاذية وتزيد مقاومة الصدم وديمومة الخرسانة. يدرس في هذا البحث تأثير استخدام ألياف البولي بروبيلين في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة لعينات مصبوبة بأبعاد (150*150*150) mm وإجراء فحص المقاومة على الضغط والمقاومة على الشد. ومن ثم مقارنة النتائج مع خرسانة غير مسلحة بالألياف. إنّ النتائج المستحصلة بينت أن وجود الألياف المصنعة يحسن خواص الخرسانة لمقاومة انكماش الجفاف ويزيد من مقاومة الخرسانة على الشد والضغط.

وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع :

أولاً : ألياف الصلب وهي قطع من الصلب بطول (3-8) mm وقطر (0.3 - 0.8) mm.

ثانياً : ألياف صناعية مثل ألياف البولي بروبيلين والبوليستر وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب ولكنها مصنعة من مواد صناعية. وتوجد أنواع عديدة أخرى من الألياف الصناعية منها الألياف الزجاجية والألياف الطبيعية وألياف البولي فينيل الكحول و ألياف التسليح من الكربون، والبولي إثيلين. [10]

الجدول (1-4) يوضح الخواص النموذجية لمجموعة من الألياف التي تستخدم كمضافات للخرسانة.

جدول (1-4) الخواص النموذجية لمجموعة من الألياف التي تستخدم كمضافات للخرسانة

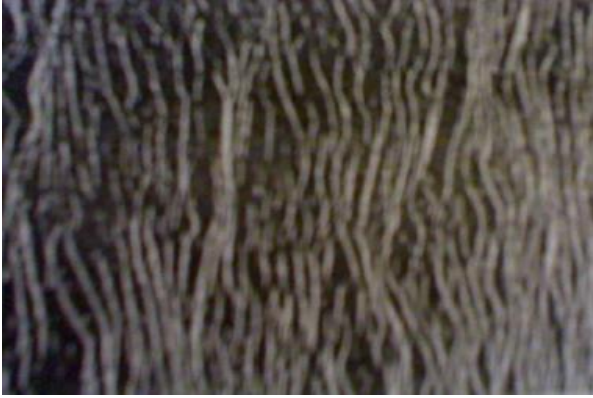
الليف / المادة	الكثافة (كجم / م ³)	معامل يونج (غيجا نيوتن/م ²)	مقاومة الشد (ميغا نيوتن/م ²)	الإستطالة عند الكسر (%)
الحديد	7860	200	3000-1000	3.5
شعيرات الزجاج	2700	80	2500	3.5
سليولوز	1500	40-10	500	-
الكاربون (معامل عالي)	1900	380	1800	0.5
الكاربون (مقاومة عالية)	1900	230	2600	1
بولي بروبيلين	910	15-3	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

1-3-2-تعريف ألياف البولي بروبيلين:

ألياف البولي بروبيلين: ألياف البولي بروبيلين عبارة عن حزم من ألياف متماسكة مع بعضها مصنوعة من مادة البولي بروبيلين و يتم التفكيك للحزم المتماسكة بفعل الخلط وتتحول إلى ملايين من الألياف المنفصلة وتضاف بنسبة 0,9 كغ/ م³ من الخرسانة وهذه الألياف تتوزع بانتظام داخل الخرسانة في جميع الإتجاهات وتعمل على مقاومة التشققات التي تنتج عن الإنكماش أثناء عملية تصلب الخرسانة , وكلما أخذت الخرسانة في التصلب والإنكماش وبدأت الشقوق الدقيقة جداً في التكون قابلتها الألياف ليس لتسدها وتمنع تأثيرها وإيقاف المشاكل التي من الممكن أن تترتب عليها فحسب و إنما تعمل على مقاومتها.

إنَّ ألياف البولي بروبيلين هي أحد أرخص البوليمرات ونتيجة لوجود طاقة الإنتاج الوفيرة القائمة حالياً فمن المرجح أن يكون مناسباً لإستعمالها في مركبات الأسمنت. ألياف البولي بروبيلين مقاومة لأكثر المواد الكيميائية ودرجة الإنصهار للبولي بروبيلين عالية بدرجة كافية (165°C) مما يجعلها قادرة على تحمل

درجات الحرارة العالية (100°C) لمدة قصيرة بدون إلحاق الضرر بخواص الألياف، تتوفر ألياف البولي



بروبلين على شكلين أحدهما أحادي الشعيرات والذي ينتج من الغزل ، والثاني وهو الأكثر شيوعاً على شكل رقائق الألياف التي تنتج بواسطة البثق.

حيث يثبت قالب خاص في ماكينة البثق لإنتاج رقائق مسطحة أو مدورة وبعده تقطع إلى أشرطة وتسحب إلى ما بين (8-20) مرة من طولها الأصلي . وهذه العملية تضمن توجيه الجزيئات للرقائق مما ينتج عنها زيادة

في مقاومة الشد للخرسانة العادية والمسلحة في إتجاه السحب وضعف في الإتجاه العرضي ،

بحيث يمكن أن تفصل بواسطة تمرير الرقائق فوق منظومة من الإبر على البكرات وبعد ذلك من الممكن



للرقائق الليفية أن تلوى ثنائياً ثم تقطع إعتيادياً بأطوال ما بين 25-50 مم للإستعمال في الخرسانة كما هو موضح بالشكل (1-13) أو تفتح لإنتاج شبكات مستمرة للإستعمال في صناعة الألواح شكل (1-12).

من الممكن أن يتلف البولي بروبيلين تدريجاً تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية أو عملية الأكسدة الحرارية ويظهر أنَّ مادة الأسمنت تمنع حدوث الأول، ومن أجل احتواء

الأكسدة الحرارية فقد تم تطوير الإضافات وتم إضافتها إلى

البوليمير لكي يتم تأخير التلف التدريجي ويصبح بالإمكان توقع الحصول على حياة خدمية أطول للمادة.

1-2-3-1- مميزات ألياف البولي بروبيلين :

1- التقليل من نفاذية الخرسانة للمياه حيث أثبتت التجارب

العملية أنَّ إضافتها للخرسانة وما يترتب عليه من الحد من

الشقوق يؤدي إلى التقليل من نفاذية هذا النوع من الخرسانة للمياه

مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية.

2- تمتاز ألياف البولي بروبيلين بمقاومة القلويات.

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية



الشكل (1-14) ألياف البولي بروبيلين

3- تمتاز بسهولة الانهاء السطحي وأسهل بالتشطيب مقارنة مع الألياف الفولاذية.

4- ولا تتأثر بالصدأ أو القلويات ولا بمضافات الخرسانة وسهلة الاستخدام منخفضة التكلفة

5- إعطاء الخرسانة مرونة عالية لمقاومة الأحمال.

ومن مساوئها :

1- هي الترابط الضعيف مع المادة الرابطة وحساسيتها لضوء الشمس والأوكسجين وهذا يتطلب معاملة خاصة وحفظها في أكياس خاصة.

2- ذات مقاومة عالية للقلويات والمقاومة للحوامض ولها مقاومة عالية جدا للشد ولكنها ذات معامل المرونة منخفض مما يقلل من خاصية عملها كتسليح وهي تستخدم على نطاق واسع في الجدران غير الحاملة ،
الواح التكسية.. [10]

1-3-3- فوائد استعمال الألياف البولي بروبيلين (المصنعة) كبديل عن شبكات التسليح الملحومة:

١- تقلل الألياف من الانكماش اللدن والتشققات:

تقلل الألياف المصنعة فرص حدوث الانكماش اللدن والتشققات من خلال توفير نظام دعم داخلي للخرسانة حيث تساعد الخرسانة خلال الفترة التي تكون بها مائلة للتشقق وهذا يحدث عندما تبدأ الخرسانة بالتصلب والانكماش نتيجة التغير الحجمي الناتج من فقدان الماء. في هذه المرحلة الألياف المصنعة توقف التشققات اللدنة قبل أن تبدأ.

٢- تأمين نزف منتظم في الخرسانة:

تكون عملية النزف (bleeding) من الخرسانة أكثر انتظاماً عند استخدام الألياف حيث أنها توفر سيطرة وتحديد لحركة الماء من كتلة الخرسانة الى السطح.

٣- زيادة مقاومة أحمال الصدم:

إنّ تسليح الخرسانة بالألياف يقلل التشققات في هيكل الخرسانة مما يتيح للخرسانة امتصاص أكبر للصدمات من خلال تحويلها من مادة قصفة إلى مادة أكثر ليونة. وإنّ معامل المرونة للخرسانة المسلحة بالألياف المصنعة ينعكس على مقاومتها لأحمال الصدم. إنّ إضافة الألياف للخرسانة يحسن من قابلية تطور التشققات من خلال تحجيم التشققات المتكونة. والألياف أيضاً تحسن الترابط بين الخرسانة والتسليح من خلال تقليل الشقوق المتكونة عند اجهادات الإنحناء الحاصلة في حديد التسليح. إنّ الخرسانة غير المسلحة والمعرضة لإجهادات ضغط تتشظى وتفشل من أول تشقّق يحصل بها، لذا فإنّ الألياف تمسك عجينة الخرسانة مع بعضها وتقلل من تأثير التشقّق. تشير الأبحاث إلى أنّ الخرسانة المسلحة بالألياف المصنعة تمسك نفسها ولا تتشظى لغاية 10% من إجهادات الضغط مقارنة مع الخرسانة غير المسلحة وهذا له علاقة

بعامل المتانة للخرسانة المسلحة بالألياف و إنّ هذه الخاصية مهمّة في التطبيقات المعرضة لأحمال الصدم أو الزلازل.

٤- السيطرة على الأحمال المنتقلة في المفاصل:

السقوف المسلحة بالألياف والمصممة بشكل جيد تكون أكثر اقتصادية وفعالية في السيطرة على تطور الشقوق ونقل الحمل خلال المفاصل (contraction joints) بحيث تقلل الشقوق المتكونة بين المفاصل والتي تؤثر على ديمومة السقوف. وكما معروف فإنّ أغلب مشاكل صيانة وتصليح الارضيات والسقوف تكمن في المفاصل حيث أنّ المفصل غير المتوازن والذي يحصل به فقدان بالمادة المائلة. [11]

٥- تقليل التشقق في المنشآت الخرسانية مسبقة الصب:

إنّ الإجهادات المبكرة التي تتعرض لها المنتجات الخرسانية المسبقة الصب يمكن السيطرة عليها باستخدام الألياف المصنعة حيث أنّه في مثل هذه المنتجات تتعرض الخرسانة لاجهادات بأعمار مبكرة تؤثر فيما بعد على ديمومة المنتج على المدى البعيد. إذ تتعرض الخرسانة للشقوق المجهرية والتي تنمو فيما بعد خلال العمر الخدمي للمنشأ، وتعتبر الألياف الحل الأمثل لمثل هذه المشكلة حيث تقيد تكون الشقوق في الأعمار المبكرة في الوقت الذي لا يستطيع الحديد أو الشبكات الحديدية القيام بالسيطرة على مثل هذه الشقوق . [11]

القسم الرابع

الإضافات

1-4-1- تعريف:

الإضافات هي عبارة عن مواد أو تراكيب من عدة مواد تضاف للخرسانة أثناء الخلط بكميات صغيرة جداً بهدف إعطاء الخرسانة الطرية أو المتصلبة خواص معينة مطلوبة مثل:

- ❖ تحسين قابلية تشغيل الخرسانة الطرية دون زيادة كمية الماء في الخلطة.
- ❖ زيادة أو تخفيض زمن التصلب.
- ❖ تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.
- ❖ الحد من ظاهرة الانفصال الحبيبي.
- ❖ زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
- ❖ الحصول على خرسانة عالية المقاومة.
- ❖ الحصول على خرسانة ذات مواصفات خاصة (خرسانة كثيفة، خرسانة خفيفة،...الخ).

1-4-2- الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الإضافات:

١. يجب ألا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.
٢. أن تتناسب الفوائد الناتجة من استخدام الإضافات مع الزيادة في التكاليف.
٣. التأكد من ملائمة وفعالية أي نوع من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.
٤. في حال استخدام نوعين أو أكثر من الإضافات في نفس الخلطة يجب أن تتوفر معلومات كافية للتأكد من مدى توافقهما.
٥. يراعى أن سلوك الإضافات مع الاسمنت المقاوم للكبريتات يختلف عنه مع الاسمنت البورتلاندي، لذلك يجب أن تتوفر معلومات كافية عن فعالية الإضافات مع الأنواع المختلفة من الاسمنت.
٦. يجب توريد الإضافات في عبوات محكمة الإغلاق ومطبوع عليها الاسم التجاري وتاريخ الصنع ومدة الصلاحية، وكذلك شهادة بخواص الإضافة الموردة ومدى مطابقتها للمواصفات، كما يجب تخزين الإضافات بطريقة تحميها من الرطوبة وأشعة الشمس والحرارة.

1-4-3- أنواع الإضافات:

ونميز بين نوعين من الإضافات: إضافات كيميائية (Chemical Admixtures) وإضافات معدنية (Mineral Additives).

1-3-4-1 - الإضافات الكيميائية (Chemical Admixtures): هي مواد تكون إما بشكل بودة سريعة

الذوبان في الماء أو بشكل سائل، تضاف إلى الببتون بنسب صغيرة من وزن الاسمنت.

عُرفت الإضافات الكيميائية في الببتون منذ عام 1936 ولأول مرة عندما استخدم المهندس (H.:L.Kennedy) بعض الأملاح الحامضية الكبريتية كمشتت في الببتون، ويوجد العديد من الإضافات الكيميائية التي تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها إلى المجموعات التالية: [12], [13]

- إضافات تخفيض الماء والتحكم بالتصلب.
- إضافات الهواء المحبوس.
- إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.
- إضافات لتلوين الخرسانة.
- إضافات أخرى متنوعة.

ولعلّ أهم وأكثر أنواع الإضافات استخداماً وشيوعاً في مجال الخرسانة هي إضافات تخفيض الماء والتحكم في تصلب الخرسانة بالتعجيل أو التأخير، ويصنف هذا النوع وفق المواصفة ASTM C494 إلى سبعة أصناف أو نماذج (A,B,C,D,E,F,G) لكل صنف عمله الخاص [14].

- ✦ الصنف A : مخفض لكمية ماء الجبل (Water Reducing) .
- ✦ الصنف B: مؤخر تجمد (Retarding) .
- ✦ الصنف C : مسرع تجمد (Accelerating) .
- ✦ الصنف D : مخفض كمية ماء الجبل ومؤخر تجمد (Water Reducing + Retarding) .
- ✦ الصنف E : مخفض كمية ماء الجبل ومسرّع تجمد (Water Reducing + Accelerating) .
- ✦ الصنف F : مضاف مخفض لكمية ماء الجبل عالي الجودة (Water Reducing, High range admixtures) .

✦ الصنف G : مضاف مخفض لكمية ماء الجبل عالي الجودة ومؤخر تجمد.
(Water Reducing, High range and Retarding Admixtures) .
وكما نرى أنّ الأنواع السبعة السابقة الذكر ينحصر تأثيرها في واحد أو أكثر من التأثيرات الثلاث الرئيسية الآتية:

1. تخفيض الماء (الملدنات والملدنات عالية الجودة Plasticizers and Superplasticizers). الصنف A,F.
2. تأخير التجمد الصنف B.
3. تسريع التجمد الصنف C.

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

فنجذ مثلاً أن الصنف D عبارة عن مزيج من النوعين A,B والنوع E عبارة عن مزيج من النوعين A,C والنوع G عبارة عن مزيج من النوعين F,B.

1-4-3-2- الإضافات المعدنية الصلبة (Mineral Additives):

عبارة عن مواد ناعمة كالبودرة (Filler,Powder) ، يمكن أن تكون طبيعية كالـبوزولانا أو ناتجة عن طحن بعض الصخور النقية (الكلسية أو السيليسية) أو مخلفات صناعية كالرماد المتطاير (Fly ash) أو خبث الأفران العالية (Slag) أو هباب السيليس التي تصنف ضمن المواد عالية النعومة (ultra fins) كونه أنعم من الاسمنت بمائة مرة تقريبا وتسلك سلوكا خاصا ومختلفا عن سلوكية المواد الناعمة الأخرى [15]. يقوم مبدأ عمل هذه الإضافات على إملء الفراغات المتبقية بين حبات الاسمنت الكبيرة إذ بسبب اختلافها عن الاسمنت بنشاطها الكيميائي ونسيجها السطحي تعمل على إملء الفراغات المتبقية بين حبات الاسمنت وتسهم بشكل جيد في زيادة درجة اكتناز العجينة الإسمنتية وتخفيض مساميته وتكون فاعليتها عالية عند استعمال مضاف كيميائي ملائم،تضاف هذه المواد في البيتون للأغراض التالية:[16] [17]

- ١- تخفيض كمية الاسمنت المستهلكة في البيتون بغية تخفيض كلفته.
 - ٢- تخفيض كمية الحرارة المنتشرة عن تمييه مركبات الاسمنت.
 - ٣- تحسين قابلية تشغيل البيتون ولزوجته.
 - ٤- توقع مقاومة عالية أو مماثلة لمقاومة البيتون المنفذ بدون إضافات على عمر متأخر.
 - ٥- تحسين مقاومة البيتون وكثامته وديمومته عند استعمالها مع إضافات كيميائية.
- تضاف هذه الإضافات إما باستبدال جزئي لكمية من الاسمنت أو باستبدال جزئي للرمال حسب نوع هذه المواد وطبيعتها ونعومتها .

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

2-1- مقدمة:

لقد كثرت الأبحاث في السنين الأخيرة التي تتناول أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد وكيفية إنتاجه والخواص التي يتميز بها بالمقارنة مع البيتون العادي بالإضافة الى الجوانب الاقتصادية والبيئية المتعلقة باستخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد.

2-2- الأبحاث والدراسات السابقة:

2-2-1- البيتون ذاتي التوضع :

قام العديد من الباحثين حول العالم بإجراء العديد من الأبحاث فيما يخص إنتاج البيتون ذاتي التوضع وأهمية استخدامه في أعمال التشييد بالمقارنة مع البيتون العادي ونذكر من هذه الدراسات :
لقد كان **Okamura** من أوائل الباحثين الذين توصلوا إلى إنتاج البيتون ذاتي التوضع وذلك في اليابان عام 1986 وذلك للتغلب على مشكلة المتانة في المنشآت البيتونية والتي تتطلب الاهتمام بأعمال رج البيتون بالإضافة الى توافر العمالة المدربة والتي كانت تفتقدها اليابان في ذلك الحين.
كما قام كل من الباحثين **Okamura-Ozawa** بتطوير إنتاج البيتون ذاتي التوضع في جامعة طوكيو عام 1989 متضمنا ذلك قابلية تشغيل البيتون ذاتي التوضع.
هذا وكانت السويد من أوائل الدول الأوروبية التي طورت هذا النوع من البيتون من خلال أبحاث قامت بها جهات عدة منها منظمة CBI عام 1993.

كما قام كل من الباحثين **M.Karatas-P.Turgut-K.Turk-A.Benli** [18]

بإجراء العديد من الأبحاث لإنتاج البيتون ذاتي التوضع باستخدام السيليكا فيوم والرماد المتطاير وخبث الحديد، حيث تراوحت نسبة استبدال الإسمنت بالسيليكا فيوم 5-20% كما تم إجراء خلطات من البيتون العادي بغية المقارنة بينه وبين البيتون ذاتي التوضع. ومن الجدير بالذكر أنّ كمية البودرة المستخدمة تراوحت 500-600 كغ/م³ وذلك للتخفيف من قابلية البيتون ذاتي التوضع للإنفصال.

- هذا وقد قام العديد من الباحثين بتسليط الضوء على أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد ونذكر من هؤلاء الباحثين: [19]

Peter Simonsson-Romuald Rwamamara

حيث قاموا بنشر بحثهم في مجلة الادارة الهندسية والتشييد عام 2011 بعنوان :

Self compacting concrete use for construction work environment sustainability.

حيث سلطوا الضوء فيها على أهمية استخدام الببتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد، حيث قاما بإجراء عمليات المقارنة مابين الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع من حيث تأثير أعمال الصب على بيئة وسلامة العمال.

الباحثان **Peter Simonsson-Mats Emborg** قاموا بإجراء بحث بعنوان: [20]

Industrialized construction benefits using scc in cast in situ construction.

ونشر هذا البحث عام 2009 في مجلة Nordic concrete research حيث قاموا بالمقارنة مابين الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع من حيث الفوائد الناتجة عن استخدامهما في أعمال التنفيذ والأثر الاقتصادي الناتج عن استخدام الببتون ذاتي التوضع.

2-2-2-الببتون العالي المقاومة :

لم يختر الببتون عالي المقاومة دوماً بسبب مقاومته العالية على الضغط بل بسبب معامل مرونته المرتفع. في شيكاغو استطاع مصمم برج Water Tower Place الموضح في الشكل رقم (1-2) باستخدامه للببتون عالي المقاومة تصغير مقطع الأعمدة في الطوابق السفلى وبالتالي تقليل الحمل الميت للبرج على الأساسات و كذلك زيادة مساحة السكن .



الشكل رقم (1-2) برج Water Tower

في عام 1988 تم بناء برج Two Union Square في سياتل بالولايات المتحدة الأمريكية ذي الـ 58 طابقاً الموضح بالشكل وقد تطلب بناؤه وهيكلته تقنيات جديدة، ولرفع صلابة هذا البرج ذي الارتفاع 216m وتقليل الاهتزازات الناجمة عن الرياح أو عن الهزات الأرضية ملأت الأنابيب الفولاذية بببتون عالي المقاومة ذي معامل مرونة 50GPA أي ضعفي معامل مرونة الببتون العادي، وقد تطلب استعمال ببتون بمقاومة على الضغط مقدارها 130Mpa مع أن المقاومة 90Mpa كانت كافية من وجهة النظر الانشائية. وقد تم الحصول على هذه المقاومة العالية باستعمال اسمنت بورتلاندي من النوع II منخفض القلوية، ونسبة $W/C=0.22$ وحصويات ملساء عالية المقاومة بقطر أعظمي 10mm ورمل من نفس مصدر الحصويات وملدنات بنسبة تتجاوز 2.5% من وزن الاسمنت.[21]

وفي عام 1993 بني جسر Normandie في فرنسا ، و يبلغ طوله الكلي 2141m و عرضه 21m و هو



الشكل (2-2) برج Two Union Square

يحوي أربع مسارات للسيارات و اثنين للمشاة و الدراجات, تتألف الفتحة الوسطى للجسر من ثلاثة أقسام : قسمين من البيتون المصبوب في المكان بطول 116m مستندة على ركائز مستندة بدورها على أعمدة فرعونية بشكل حرف y مقلوبة و بارتفاع 214m كما هو موضح في الشكل رقم (2-3) وقسم ثالث مركزي بطول 624m بني ببلاطات مسبقة الصنع , وقد تطلب بناء الجسرحوالي 70000m^3 من البيتون بمقاومة وسطية 80MPa . واستخدم في صنع بيتون هذا الجسر رمل طبيعي بقطر $4\text{--}0\text{ mm}$ وحصويات مكسرة بقطر لا يتجاوز 20 mm وملدن ميلاميني محسن ونسبة هباب السيليس إلى الاسمنت مقدارها 8% .

وقد تم ضخ البيتون (و بصعوبة في كثير من الأحيان) لبناء القسم الشاقولي من الجسر، كما تم رج البيتون داخلياً و خارجياً [21].



الشكل (2-3) جسر Normandie في فرنسا

2-2-3- الإضافات الكيميائية والمعدنية في البيتون ذاتي التوضع :

- الباحث الدكتور أيمن لفلوف (2016):

ذكر الباحث في أطروحة الدكتوراه المنجزة في جامعة البعث تأثير الإضافات في السلوك الريولوجي للبيتون ذاتي التوضع , حيث تم دراسة تأثير بعض أنواع الإضافات الكيميائية والصلبة في سلوكية البيتون ذاتي التوضع في حالته الطرية أو مايسمى (ريولوجيا البيتون ذاتي التوضع). وتم تصميم خلطات باستخدام عدة أصناف من الإضافات (رماد الخشب والسبيداج وهباب السيليس) لتحقيق نسبة النواعم المطلوبة واستخدام

نوعين من الاسمنت وعدة أصناف من الإضافات الكيميائية ودراسة تأثير هذه الإضافات على قطر الانتشار وإجهاد الخضوع وإجهاد القص والمقاومة على الضغط.[22]

حيث بيّنت نتائج التجارب أنّ استخدام رماد الخشب في الببتون ذاتي التوضع يؤثر سلباً في خصائص هذا الببتون في الحالة الطرية، كما يخفّض المقاومة التصميمية المطلوبة ، بينما تتحسن هذه الخصائص عند استخدام بودرة كربونات الكالسيوم (سبيداج).

كما بيّنت نتائج التجارب الريولوجية التي أجريت على المونة الاسمنتية ذاتية التوضع انخفاض قيمة قطر الانتشار والانتشار النسبي بزيادة نسبة رماد الخشب المستخدمة ويزداد إجهاد الخضوع وإجهاد القص مع زيادة نسبة رماد الخشب في الخلطات ، وتخفض قيمة المقاومة المكعبية .

وأيضاً بيّنت نتائج التجارب زيادة قيمة قطر الانتشار بزيادة نسبة هباب السيليس المستخدمة مع نوعي الاسمنت المستخدمين بالدراسة.[22]

وإنّ استخدام بودرة كربونات الكالسيوم في المونة ذاتية التوضع يؤدي إلى زيادة قيمة قطر الانتشار ويؤدي إلى انخفاض قيمة إجهاد الخضوع وقيمة إجهاد القص في العينات وبقاء المقاومة المكعبية ضمن الحدود المقبولة .

- الباحث كريم عبود (2013): [23]

درس الباحث تأثير نوع الملدن على خواص الخرسانة ذاتية الرص الطرية والمتصلبة

حيث يبيّن تأثير استخدام أنواع متعددة من الملدنات الفائقة على خواص الخرسانة ذاتية الرص الطرية والمتصلبة . تم عمل (29) خلطة خرسانية أحدها مرجعية و(28) خلطة أخرى ذاتية الرص حيث كانت نسبة الخلط هي (1:1.95:2.37) اسمنت، رمل مكسر، بحص عدسي على التوالي ونسبة ماء الى سمّنت (0.6) للخلطة المرجعية و(0.5) لبقية الخلطات الخرسانية ذاتية الرص ، أمّا نسبة الملدن المستخدم فكانت بنسب (0.5 ، 1 ، 1.5 ، 2) % من وزن السمّنت . كانت قيمة الهبوط للخلطة المرجعية mm (63) وقيم الانسياب للخلطات الخرسانية ذاتية الرص تتراوح بين mm (510 – 780) وزمن t50 cm بين (2–5) ثانية أما زمن فحص V – funnel فكانت تتراوح بين (6 – 12) ثانية ونسبة H2/H1 لفحص L – Box هي (0.82 – 0.85). تم فحص مقاومة الانضغاط للمكعبات الخرسانية وكانت قيم هذه المقاومة تتراوح بين N/mm^2 (8.6 – 30.5) للخلطة المرجعية وللأعمار (3–90) يوم أما قيم مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية ذاتية الرص فتتراوحت بين (18.2 – 28.4) ، (28.3 – 44.8) ، (27.8 – 61) و(41.2 – 65.3) N/mm^2 وللأعمار (3 ، 7 ، 28 ، 90) يوم على التوالي .[23]

الفصل الثالث

الدراسة العملية

العمل المخبري لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

3-1- المواد المستخدمة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة:

في هذه الفصل سنتناول المواد التي تم استخدامها للوصول إلى إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة والتي تم الحصول عليها من خلال تجارب مخبرية أجريناها في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة الوادي الدولية الخاصة .

3-1-1- الإسمنت البورتلاندي:

تم استخدام نوعين من الاسمنت :

النوع الأول: اسمنت بورتلاندي من الصنف (32.5) (Type I), محلي الصنع إنتاج معمل اسمنت طرطوس وفق المواصفة القياسية السورية (SNS 1878) المنبثقة من المواصفات الأوروبية (EN197-1) حسب ASTM C150 السطح النوعي له $3150 \text{ cm}^2/\text{g}$.

النوع الثاني : اسمنت بورتلاندي من (42.5) (Type II) من إنتاج معمل اسمنت السبع (شكا-لبنان) مصنع وفق المواصفات الأوروبية (EN197-1) حسب ASTM C150 السطح النوعي له $3450 \text{ cm}^2/\text{g}$. ويبين الجدول (1-2) التحليل الكيميائي للنوعين المستخدمين من الاسمنت.

الجدول (1-3) التحليل الكيميائي لنوعي الاسمنت

اسمنت بورتلاندي Type II Class 42.5	اسمنت بورتلاندي Type I Class 32.5	المركب
21.2	20.5	SiO ₂
5.4	4.91	Al ₂ O ₃
3.32	4.96	Fe ₂ O ₃
62.34	61.78	CaO+CaO free
1.17	2.88	MgO
0.38	0.31	K ₂ O
0.26	0.88	Na ₂ O
2.18	1.15	L.O.I

3-1-2- المواد الحصوية :

تقضي المواصفات العالمية أن تكون خواص المواد الحصوية المستعملة في البيتون خاملة كيميائياً وأن تتحمل العوامل الطبيعية وأن تكون قاسية وذات سطوح خشنة ويفضل منها ذات المكسر الحديث والنظيف وأن يكون شكل حباتها مكعبياً أو قريب من المكعب ويستبعد الشكل الصفائحي أو الإبري للحبات ويجب أن تعطي تلاصقاً مع المونة الاسمنتية كما يجب أن تكون خالية من المواد العضوية .
تتكون المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية من ثلاث أنواع مستخرجة من مقالع حسياء في محافظة حمص ، وتعرف كالاتي:

- حصويات طبيعية مكسرة : ذات منشأ دلوميتي كلسي مستخرجة من مقالع حسياء وتتكون من صنفين:

١- بحص متوسط الخشونة : (medium gravel) يعرف محلياً باسم البحص العدسي تدرجه الحبي (0-12.5)mm نعرفه في الدراسة بالبحص رقم (١).

٢- رمل مكسر (crushed sand) معروف محلياً باسم الزرادة أو السراة تدرجه الحبي (0-10)mm.

- رمل طبيعي (natural sand) ذو منشأ سيليسي من منطقة القريتين ، يضاف إلى الخلطة البيتونية من أجل تعديل المنحني الحبي للرمال المكسر وتحسين قابلية تشغيل البيتون.
- حصويات معاد تدويرها : وهي الحصويات الناتجة عن الأبنية المهدامة نعرفه بالدراسة بالبحص رقم (٢)

نوجز في الجدول (2-3) أهم الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحصويات المختبرة ونبين في الجدول (3-3) التحليل الكيميائي لها

الجدول (2-3) الصفات الفيزيائية والميكانيكية للمواد الحصوية المستخدمة

الصنف	التدرج الحبي mm	درجة الامتصاص %	الوزن النوعي	الوزن الحجمي g/cm ³	المار من No.200 %	المكافئ الرملي %	لوس أنجلوس %
بحص (١)	0 - 12.5	1.3	2.825	1.46	1.2	-	18.7
بحص (٢)	0-19	3.5	2.34	1.2	1.2	-	19.8
رمل مكسر	0 - 10	1.57	2.795	1.575	8.7	76	-
رمل طبيعي	0 - 1	1.6	2.685	1.505	2.7	72	-

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

الجدول (3-3) التحليل الكيميائي للمواد الحصوية المستخدمة

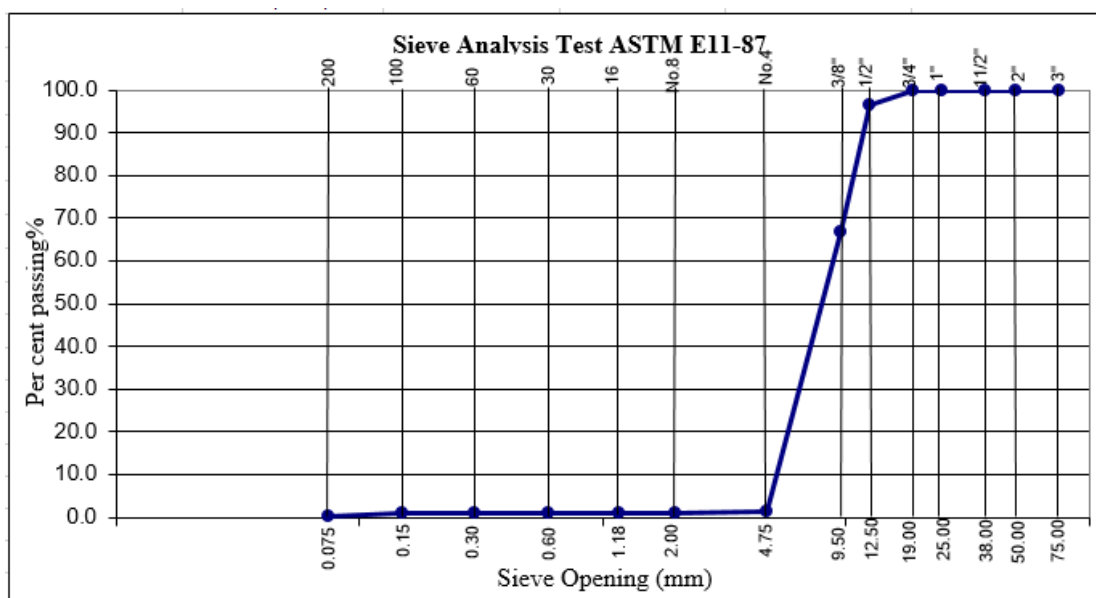
الصف	بحص /1/	بحص /٢/	رمل مكسر ناعم	رمل طبيعي
CaO	32.25	33.2	31.68	0.56
MgO	19.75	18.6	19.56	0.1
Fe ₂ O ₃	0.2	0.2	0.2	0.4
Al ₂ O ₃	0.25	0.21	0.13	0.13
SiO ₂	0.43	0.45	0.7	97.77
cel	0.11	0.12	0.3	-
Na ₂ O	0.34	0.33	0.35	0.036
K ₂ O	0.02	0.01	0.03	0.05
الفاقد بالحرق	46.44	45.9	46.68	0.33

كما تبين الأشكال (1-3) و (2-3) و (3-3) و (4-3) المنحنيات الحبيبة للمواد الحصوية المختلفة.

3-1-2-1-3 - البحص العدسي - بحص (١):

تم إجراء تجربة التدرج الحبي للبحص العدسي وكان مطابقاً للحزمة رقم 7 حسب (ASTM C33) وكانت

نتيجة التدرج الحبي على الشكل التالي:

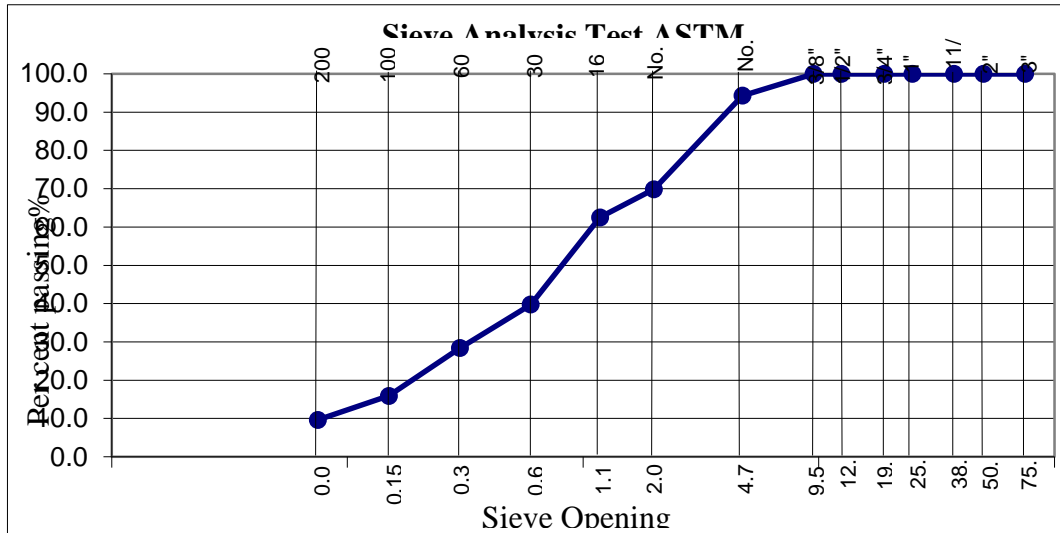


الشكل (1-3) منحنى التدرج الحبي للبحص العدسي

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

3-2-1-2 - الرمل المكسر :

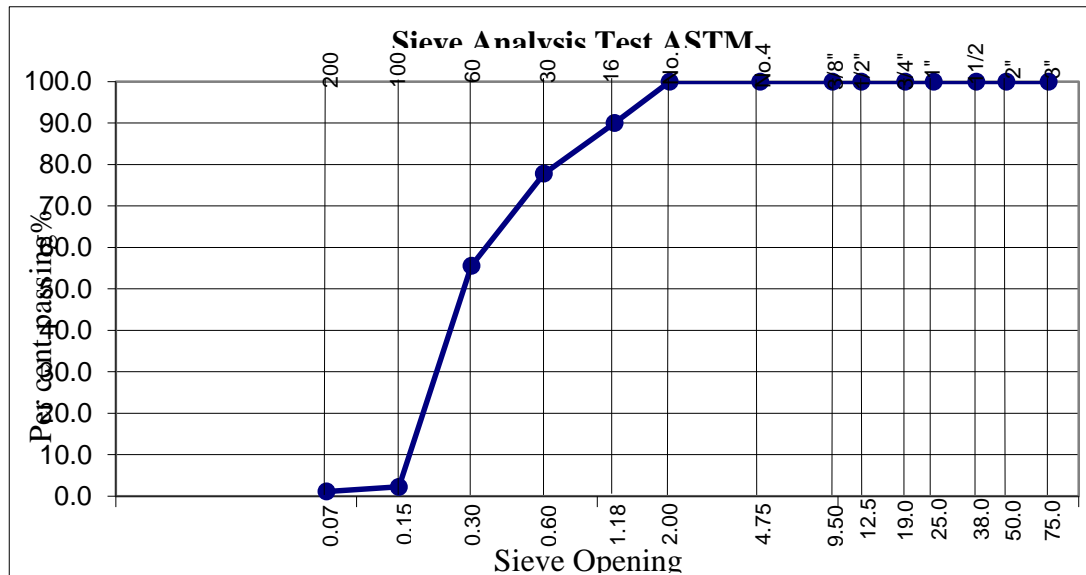
تم إجراء تجربة التدرج الحبي للرمل المكسر والذي يحقق منحني التدرج النظامي حسب (ASTM C33) وكانت النتيجة على الشكل التالي:



منحني (2-3) منحني التدرج الحبي للرمل المكسر

3-2-1-3 - الرمل الطبيعي :

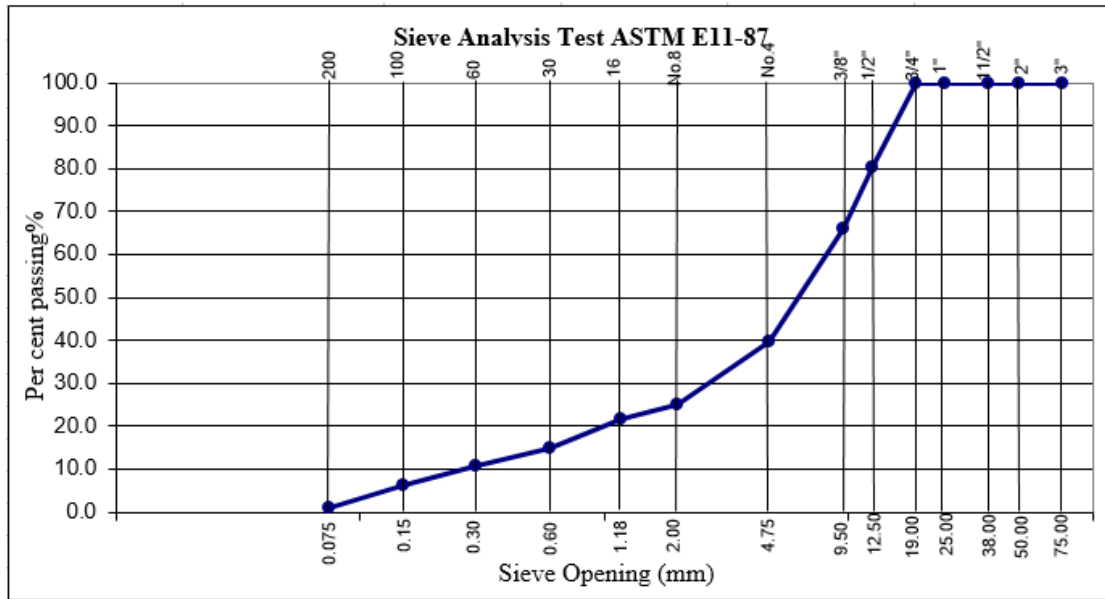
تم إجراء تجربة التدرج الحبي للرمل الطبيعي والذي يحقق منحني التدرج النظامي حسب (ASTM C33) وكانت النتيجة على الشكل التالي:



منحني (3-3) منحني التدرج الحبي للرمل الطبيعي

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

3-1-2-4- الحصويات المعاد تدويرها : تم إجراء تجربة التدرج الحبي للحصويات المعاد تدويرها والذي يحقق منحنى التدرج النظامي حسب (ASTM C33) وكانت النتيجة على الشكل التالي:



منحنى (3-4) منحنى التدرج الحبي للحصويات المعاد تدويرها

3-1-3- الألياف:

تم تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام ألياف هي :
 *ألياف البولي بروبيلين (PP Fibers) بطول 12mm وقطر 0.3mm وكثافتها 865 Kg/m³ ومقاومة الشد بلغت 240N/mm² ونسبة الاستطالة 11% , تم إضافة الألياف بنسب (0-0.5-1-1.5)% من وزن الاسمنت .



الشكل (3-5) ألياف البولي بروبيلين

3-1-4- الإضافات المستخدمة:

3-1-4-1- الإضافات الكيميائية :

1- تم استخدام مضاف كيميائي سائل بني اللون، وزنه الحجمي ($1,155 \text{ g/cm}^3$)، نسبة الإضافة (3%-0,5) من وزن الاسمنت، يصنف بالصنف (A,D) وفقا للمواصفات الأمريكية (C494 ASTM)، ويعرف تجاريا باسم (ADMIX CF 30HM) من صنع شركة SODAMCO، تم استخدامه بنسبة (3%) بموجب نشرة الشركة الصانعة نرّمز له في متن البحث بالرمز SP.



الشكل (3-6) ملدن كيميائي

2- (Styrene Butadiene Rubber) SBR:

ال SBR هو أحد أنواع البوليمرات الهامة في أعمال البناء وهو عبارة عن مستحلب أبيض، متعدد الأغراض أساسه لاتكس البوتادين سيتيرين يضاف للخرسانة والمونة الاسمنتية لتحسين خواصها بصفة عامة وزيادة مقاومة الالتصاق بمواد البناء المختلفة بصفة خاصة.



الشكل (3-7) SBR (Styrene Butadiene Rubber)

أهمية ال SBR :

- * زيادة مقاومة الالتصاق للخرسانة والمونة على أسطح مواد البناء المختلفة .
- * زيادة مقاومة الخرسانة والمونة للجهدات الشد والاحتكاك والصدم .
- * زيادة خاصية المرونة للخرسانة والمونة وتقليل الانكماش مما يساعد على تقادي الشروخ التي تحدث عادة بعد الجفاف.

* زيادة قابلية التشغيل ويقلل من نسبة مياه الخلط .

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

3-1-4-2- الإضافات الصلبة :

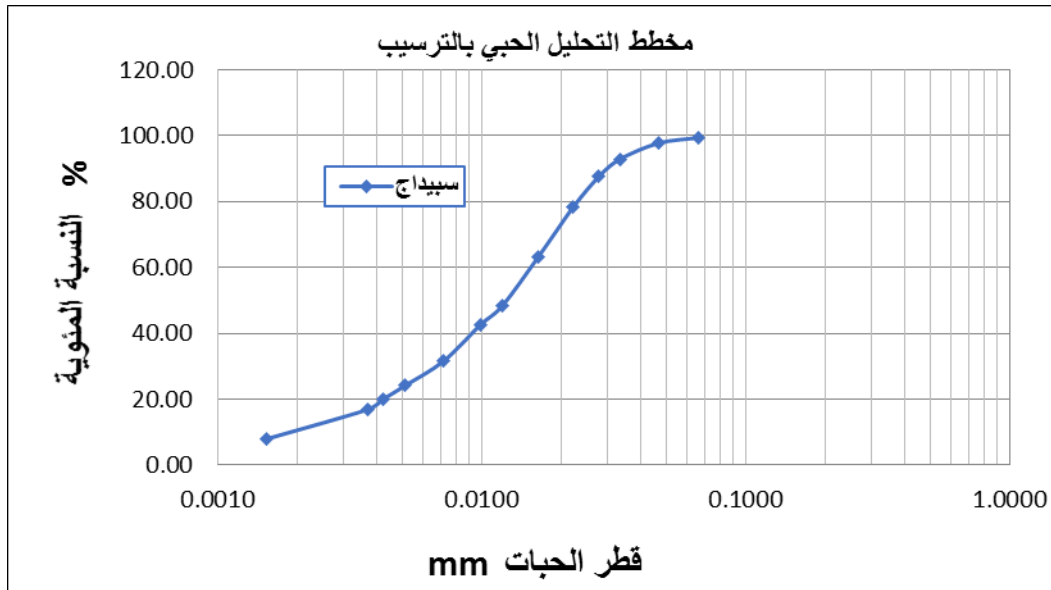
بودرة كربونات الكالسيوم شبه النقية:

هي عبارة عن بودرة بيضاء اللون وتعتبر من المساحيق الأساسية التي تكون مع المواد الرابطة القوام الرئيسي للدهانات وتعرف محلياً باسم (السبيداج)، تتوقف جودة كربونات الكالسيوم شبه النقية على جودة الحجر الكلسي و جودة طحنه. لإنتاج كربونات الكالسيوم يتم تكسير الحجر الكلسي في كسارات خاصة ثم يتم طحنه في طواحين إلكترونية للحصول على درجة نعومة عالية.

ويبين الجدول (4-2) التركيب الكيميائي لمادة كربونات الكالسيوم شبه النقية كما يبين الشكل (2-8) التدرج الحبي لها.

الجدول (4-3) : التركيب الكيميائي لمادة كربونات الكالسيوم شبه النقية

المركب	L.O.I	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO+CaO free	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
%	42.73	0.07	0.04	0	55.87	0.07	0.15	0.03



الشكل (3-8) التدرج الحبي لمادة كربونات الكالسيوم شبه النقية .

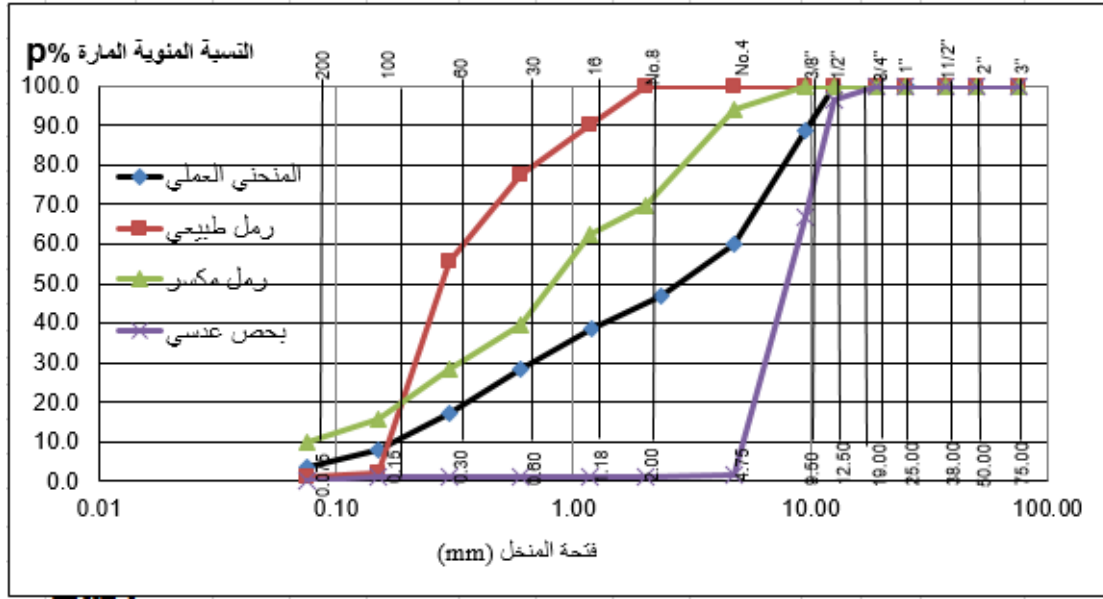
3-1-5- الماء :

تم استخدام ماء صالح للشرب (في مخابر جامعة الوادي) خالي من الأملاح والمواد الضارة .

3-2- تصميم خلطة بيتون ذاتي التوضع SCC :

تم تصميم خلطة البيتون ذاتي التوضع باعتماد الأسس المنبثقة من التوصيات الأوروبية الخاصة بالبيتون ذاتي التوضع (ERMCO) والمؤسسة الفرنسية للهندسة المدنية (AFGC) بالإضافة إلى بعض المعطيات المتوفرة عن المواد المستخدمة في تركيب الخلطة البيتونية، نوجزها بالآتي :

- ١- المواد الحصوية المستخدمة من النوع المتوسطة الجودة $G = 0.5$
 - ٢- الاسمنت المستخدم بورتلاندي صنف (Type II – Class 42.5)
 - ٣- عيار الاسمنت: تم اعتماد عيار اسمنت $(C = 500 \text{ Kg/m}^3)$ بحيث يتناسب مع توصيات ERMCO.
 - ٤- ماركة الاسمنت الفعلية للاسمنت صنف $(32.5) 360 \text{ Kg/cm}^2$
 - ٥- ماركة الاسمنت الفعلية للاسمنت صنف $(42.5) 460 \text{ Kg/cm}^2$
 - ٥- كمية الفيلر : (150 Kg/m^3)
 - ٦- المقاومة الاسمية المعتمدة بعمر 28 يوماً هي $\sigma_{28} = 650 \text{ Kg/cm}^2$, $\sigma_c = 460 \text{ Kg/cm}^2$
 - ٧- $W/C = 0.30$: النظرية محسوبة من علاقة بولومي $(C/W - 0.5) \sigma_{28} = G \cdot \sigma_c$
 - ٨- القطر الأعظمي لحبات الحصويات (D=14mm).
 - ٩- تم اعتماد علاقة المنحني الحبي من الشكل $(P\% = 100 * (\frac{d}{D})^{0.35})$ وهي مشابهة لتلك المعتمدة في كثير من المراجع [24] , [25] .
- في هذا البحث تم تصميم مجموعة من خلطات البيتون ذاتي التوضع بالإضافة إلى مجموعة أخرى من الخلطات الخاصة بالبيتون العادي وذلك من أجل المقارنة بين هذين النوعين من البيتون وتبسيط الضوء على أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة في أعمال التشييد .
- كما ذكرنا سابقاً فقد قمنا باستخدام حصويات ذات تدرج ومواصفات محددة واسمنت ذو مواصفات محددة بالإضافة إلى الماء والإضافات الأخرى.
- تم تحديد النسب المثلى من الحصويات الداخلة في تصميم الخلطة بحيث تقع الحصويات (الخشنة والناعمة) (المنحني العملي) ضمن المجال النظامي الذي حدده الكود الأمريكي لاختيار المواد.



الشكل (3-9) منحني التحليل الحبي للحصويات الداخلة بتركيب الخلطة

يبين الجدول (3-5) كميات المواد الداخلة في تركيب الخلطات البيتونية

الجدول (3-5) كميات المواد الداخلة في تركيب الخلطات البيتونية

الكمية	المنحني العملي	رمل طبيعي	رمل مكسر	بحص متوسط الخشونة	اسمنت	بودرة	ماء	ملدن
الكمية	655	790	305	350	150	150	10.5	
الكمية	655	790	305	500	-	150	15	

ومن الجدول السابق نستنتج أن كميات المواد الداخلة في تركيب الخلطة تقع ضمن الحدود اللازمة لتشكيل خلطة بيتونية ذاتية التوضع وفق الاسس المنبثقة من التوصيات الأوروبية الخاصة بالبيتون ذاتي التوضع (ERMCO) . [3]

3-3- الخلطات المنجزة :

لقد أجرينا في هذا البحث العديد من التجارب للوصول إلى إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة انطلاقاً من المواد التي تم اختيارها والتي تم توضيح مواصفاتها في الفقرات السابقة.

كما قمنا بالاستعانة بالدليل الأوروبي لإنتاج البيتون ذاتي التوضع بالإضافة إلى الكتيب الخاص بالمعهد الأمريكي للبيتون.

- (الخلطة المرجعية الأولى) : بدون ألياف وبعيار اسمنت 350 Kg/m^3 , ونسبة ماء إلى اسمنت $W/C=0.3$, وكمية بودرة (سبيداج) 150 Kg/m^3 , وكمية ملدن 10.5 Kg/m^3 .
- (الخلطة المرجعية الثانية) : بدون ألياف وبعيار اسمنت 500 Kg/m^3 , ونسبة ماء إلى اسمنت $W/C=0.3$, وبدون بودرة (سبيداج), وكمية ملدن 15 Kg/m^3 .
- الخلطة الأولى: خلطة بيتون ذاتي التوضع تحوي نفس مكونات الخلطة المرجعية الثانية مع إضافة ألياف بولي بروبيلين (PP Fibers) بنسبة 0.5% من وزن الاسمنت.
- الخلطة الثانية خلطة بيتون ذاتي التوضع تحوي نفس مكونات الخلطة المرجعية الثانية مع إضافة ألياف بولي بروبيلين (PP Fibers) بنسبة 1% من وزن الاسمنت
- الخلطة الثالثة : خلطة بيتون ذاتي التوضع تحوي نفس مكونات الخلطة المرجعية الثانية مع إضافة ألياف بولي بروبيلين (PP Fibers) بنسبة 1.5% من وزن الاسمنت.
- الخلطة الرابعة : خلطة بيتون ذاتي التوضع تحوي نفس مكونات الخلطة المرجعية الثانية مع إضافة ألياف بولي بروبيلين (PP Fibers) بنسبة 1% من وزن الاسمنت, وكمية $SBR=25 \text{ Kg/m}^3$.

**** كما تم إجراء تجارب مماثلة للتجارب السابقة وبنفس نسب المواد الداخلة في تركيبها ولكن باستخدام نوعين إضافيين من الألياف : أحدهما نظامية وهي الألياف الزجاجية (Glass fibers) والأخرى غير نظامية وهي عبارة عن أسلاك تربط تستخدم في أعمال تسليح المنشآت البيتونية المسلحة وذلك لإغناء البحث حيث أعطت هذه الألياف الأخيرة نتائج مميزة تفتح باباً جديداً لضرورة البحث عن ألياف فولاذية نظامية واستخدامها في أبحاث جديدة.**

تم إدراج صور ونسب هذه الألياف بالإضافة لنتائج المقاومات المميزة على عمر 28 يوم في الملحق رقم (1)

و يبين الجدول (3-6) كميات المواد المستخدمة في تشكيل خلطات بيتونية ذاتية التوضع تحوي ألياف بولي بروبيلين بالإضافة (للخلطات المرجعية بدون ألياف)

الجدول (3-6) كميات المواد المستخدمة في تشكيل خلطات بيتونية ذاتية التوضع تحوي ألياف بولي بروبيلين بالإضافة (للخلطات المرجعية بدون ألياف)

الكميات اللازمة من مكونات الخلطة البيتونية (Kg/m^3)									
رقم الخلطة	اسمنت	بوترة (سبيداج)	ماء	رمل ناعم	حصى	حصى	ألياف بولي بروبيلين %	ملدن SP	SBR
Ref1	350	150	150	655	790	305	0	15	0
Ref2	500	0	150	655	790	305	0	15	0
1	500	0	150	655	790	305	0.5	15	0
2	500	0	150	655	790	305	1	15	0
3	500	0	150	655	790	305	1.5	15	0
4	500	0	150	655	790	305	1	15	25

الجدول (3-7) يوضح نتائج تجارب الخواص الريولوجية لخلطات البيتون ذاتي التوضع الحاوية على ألياف البولي بروبيلين بالإضافة (للخلطات المرجعية بدون ألياف)

Mix No	W/C	D(cm)	L Box	SR (%)	T500(sec)	V(sec)	Notes
Ref1	0.3	65	0.83	12.5	3	4	محقة
Ref2	0.3	45	0.65	17.5	7	8	غير محقة
1	0.3	65	0.82	14.6	4	5	محقة
2	0.3	60	0.87	13.5	3	4	محقة
3	0.3	45	0.57	12.5	8	8	غير محقة
4	0.3	67	0.92	13	3	5	محقة



3-4- آليّة الخلط :

تم خلط المواد خلط جاف (اي اسمنت ورمل وحصى وألياف) لحين الحصول على خلطة متجانسة ثم يضاف الماء والملدنات وتخلط بالخلاط الكهربائي مدة ٣ دقائق وبعد صب النماذج وفك القوالب بعد ٢٤ ساعة توضع العينات بالماء لأغراض المعالجة وتبقى لحين موعد الكسر .

تحدد وقت وسرعة الخلط وفق ASTM C94 . يتم خلط المزيج وتشكيل الخلطة المطلوبة ثم يوضع المزيج الناتج في قوالب مكعبية

بأبعاد (150*150*150) لمدة ٢٤ ساعة وبعدئذ تفك القوالب وتوضع العينات في أحواض مائية لمدة 28 يوم.

3-5- صب البيتون :

بعد الإنتهاء من عملية خلط البيتون وإجراء التجارب اللازمة للتأكد من جودة البيتون ذاتي التوضع ، تم صب البيتون في قوالب مكعبية قياس 15*15*15 سم كما هو واضح في الصورة رقم (2-10) دون رج أو دق للبيتون المصبوب فهو يتوضع ذاتيا في القالب. و بعد تسوية سطح العينات البيتونية توضع في مكان آمن لتتصلب و تترك مدة 24 ساعة في القوالب .



إنّ عدد العينات اللازم صبها يعتمد على البرنامج العملي المطلوب ،غالبا ما يتم صب 9 عينة من أجل كل عمر للإختبار وظروف الإختبار (ASTM C192). وذلك لإختبار مقاومتها على الكسر بعد 7-28-60 يوم.

كما تم صب عينات ضمن قوالب خشبية صنعت خصيصا" لاستخراج منها عينات ومعرفة مقاومة هذه العينات على الشد، أبعاد هذه القوالب الخشبية cm (20*40*1) , cm (20*40*2) . وبالتالي بلغ عدد العينات الكلي حوالي 324 عينة.

طريقة صنع عينات القوالب الخشبية :

١- دهن الوجه الداخلي للقالب الخشبي بالزيت

٢- وضع مزيج الخلطة البيتونية ضمن القالب

٣- تسوية سطوح العينة ضمن القالب

٤- نترك العينات لمدة 24 ساعة حتى تجف ضمن المخبر

٥- نستخرج العينات من القالب الخشبي ونضعها في حوض مائي لمدة ٢٨ يوم

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

الشكل (10-3)
صب العينات البيتونية

٦- تقسم العينات إلى قطع بيتونية بأبعاد $(20*5*1)$ cm و $(20*5*2)$ cm

٧- اختبار العينات البيتونية على الشد بواسطة جهاز يدوي الصنع

جهاز كسر العينات على الشد (اليدوي الصنع) مؤلف من :

مسندين مثبتين - حلقة معدنية - وعاء لوضع الأوزان

طريقة إجراء التجربة :

١- نضع العينة البيتونية على مسندين المسافة بين نقطتي الاستناد 18 سم.

٢- نطبق مسند فوق العينة في المنتصف من أجل تطبيق قوة مركزة على الجانز (العينة البيتونية) هذه

المسند متصل بحلقة معدنية متصلة بدورها مع وعاء لوضع الأوزان .

٣- نضع أوزان ضمن الوعاء حتى تصل العينة لمرحلة الانهيار.

٤- نقيس الوزن ونطبق العلاقة $M = P * L / 4$ نحصل على قيمة العزم .

٥- نحسب قيمة الاجهاد $\sigma = M * Y / I$ حيث : $I = bh^3 / 12$, $Y = h / 2$



الشكل (3-11) صب القوالب الخشبية



الشكل (3-12) جهاز كسر العينات على الشد بالانعطاف

3-6- معالجة البيتون:

تم حفظ العينات البيتونية المصبوبة فور الإنتهاء من عملية الصب ولغاية فك القوالب وذلك لمنع فقدان الرطوبة من العينات, ثم فك وإخراج العينات من القوالب بعد حوالي 24 ± 8 h من الصب.

جميع العينات معالجة بدرجة حرارة $23 \pm 2^\circ\text{C}$ منذ صب العينات ولغاية اختبارها، وذلك من خلال وضع العينات بخزان ماء وذلك طبقا للمواصفة ASTM C511 .

3-7- كسر العينات :

تم كسر العينات باستخدام جهاز كسر العينات البيتونية الذي يعطينا قوة كسر العينة ومن ثم يتم حساب مقاومة الكسر باستخدام العلاقة :

$$\sigma = P/A$$

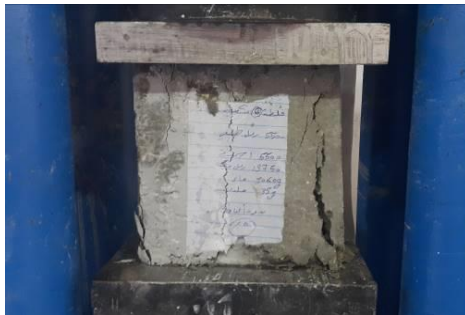
حيث:

σ : مقاومة الكسر نيوتن/مم² (MPa)

P : قوة الكسر (نيوتن) A

A : مساحة سطح الكسر (مم²).

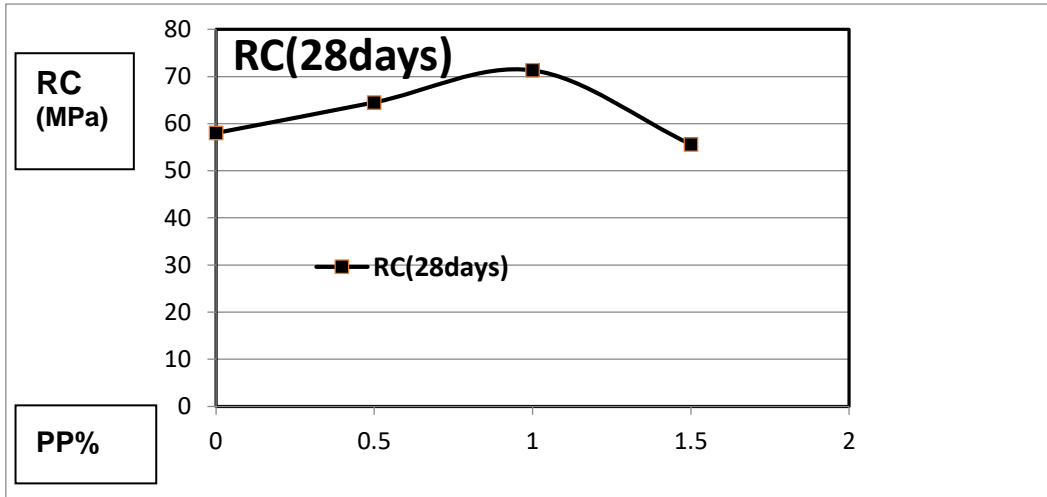
تم كسر العينات على أعمار (7-28-60) يوما"، حيث تم كسر 9 عينات لمعرفة المقاومة عند كل عمر و قد كانت النتائج التي حصلنا عليها في هذه التجربة على الشكل التالي جدول (3-8).



الشكل (3-13) جهاز اختبار العينات البيتونية على الضغط

الجدول (8-3) نتائج اختبار العينات على الضغط على أعمار (7-28-60) يوما"

				نسبة الألياف %	نتائج المقاومة على الضغط (Mpa)		
	رقم الخطة	W/C	D(cm)		7 days	28 days	60 days
	Ref1	0.3	65	0%	32.9	41.8	43.1
	Ref2	0.3	45	0%	48	58	61
PP fibers	1	0.3	63	0.5%	51	64.5	67.5
	2	0.3	65	1%	58	71.3	73.5
	3	0.3	45	1.5%	46	55.6	57.32
	4	0.3	67	1 %	52.5	73	75.25



الشكل (3-14) العلاقة بين نسبة ألياف (PP%) والمقاومة على الضغط

كما تم اختبار العينات على الشد بالانقطاع على عمر 28 يوم كما هو مبين بالشكل (3-15) وتم توضيح نتائج المقاومة في الجدول (3-9)



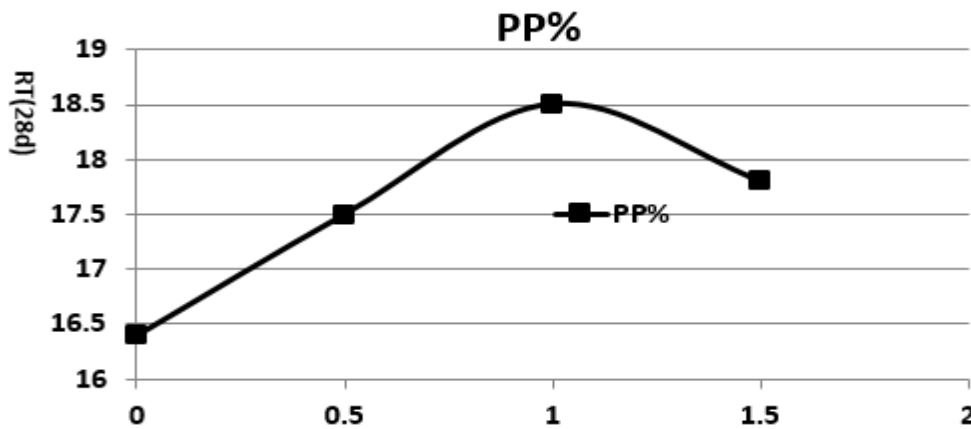
الشكل (3-15) اختبار العينات على الشد بالانقطاع



الشكل (3-15) اختبار العينات على الشد بالانعطاف

الجدول (3-9) نتائج مقاومة كسر العينات على الشد بالانعطاف على أعمار (7-28-60) يوما"

				نسبة الألياف %	نتائج المقاومة على الشد (Mpa)		
	رقم الخطة	W/C	D(cm)		7 days	28 days	60 days
PP fibers	Ref1	0.3	65	0%	13.1	15.3	16.4
	Ref2	0.3	45	0%	14.3	16.4	18.1
	1	0.3	63	0.5%	15.6	17.5	18.9
	2	0.3	65	1%	16.4	18.5	19.5
	3	0.3	45	1.5%	15.9	17.8	18.6
	4	0.3	67	1%	17	18.9	19.9



الشكل (3-16) العلاقة بين نسبة ألياف (PP%) والمقاومة على الشد

3-8- صب بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام حصويات معاد تدويرها :

يبين الجدول (2-10) كميات الحصويات المختلفة المعاد تدويرها المستخدمة في تصنيع العينات البيتونية المتنوعة ، مع الإشارة إلى أن الحصويات المعاد تدويرها تم استخراجها من حي الخالدية في مدينة حمص و تحتوي على المكونات التالية: (60%بيتون، 20%بلوك، 10%سيراميك، 10%بلاط) .

تتصف حصويات الخرسانة المعاد استخدامها (RCA) بالصفات التالية:

- ❖ نسبة امتصاص ماء أعلى من تلك الموجودة في الحصويات الطبيعية الجديدة ويعود سبب زيادة هذه النسبة إلى وجود كمية من المونة الإسمنتية الملتصقة بحبات الحصويات .
- ❖ تتصف الحصويات المعاد استخدامها بوزن حجمي أقل، بنسبة (5-10%) من الحصويات الطبيعية وهذا يتعلق بمقاومة البيتون الذي تم منه استخلاص هذه الحصويات كما أفاد به تقرير لجنة الكود ACI 555 .

- ❖ تنخفض قابلية تشغيل البيتون الذي يحوي الحصويات المعاد تدويرها مقارنة بمثيله الذي يحوي فقط حصويات طبيعية وذلك من أجل (W/C) ثابتة ويزداد انخفاض قابلية التشغيل مع ازدياد نسبة النواعم في الحصويات المعاد استخدامها , تشير كافة الدراسات المرجعية ألا تتعدى نسبة النواعم في الحصويات المعاد استخدامها عن (30%) .

تم تصميم خلطات البيتون باستخدام النسب المئوية الإسمنتية نفسها وكمية المواد الإسمنتية نفسها للبيتون ذاتي التوضع ونسبة ملدن 3%, حيث العينة N1 استخدم فيها حصويات معاد تدويرها و عيار الاسمنت 350 Kg/m³. بينما العينة N2 استخدم فيها حصويات معاد تدويرها و عيار الاسمنت 500 Kg/m³ .

الجدول (3-10) كميات المواد الداخلة بتركيب الخلطة البيتونية الحاوية على حصويات معاد تدويرها

رقم الخلطة	اسمنت	بودرة (سبيدج)	ماء	حصويات معاد تدويرها	رمل طبيعي	SP ملدن
N1	350	150	150	1445	305	15
N2	500	0	150	1445	305	15

الجدول (3-11) نتائج المقاومة على الضغط على عمر 28 يوم

			المقاومة على الضغط (Mpa)		
رقم الخلطة	W/C	D(cm)	7 days	28 days	60 days
N1	0.3	45	29.7	34.6	36
N2	0.3	42	33	38.6	42

الجدول (3-12) نتائج المقاومة على الشد على عمر ٢٨ يوم

			المقاومة على الشد (Mpa)		
رقم الخلطة	W/C	D(cm)	7 days	28 days	60 days
N1	0.3	45	10.6	11.5	14.5
N2	0.3	42	11.4	12.8	15.3

تعطي الحصويات المعاد تدويرها قيماً مقبولة للمقاومات في البيتون عند استخدامها بنسب مختلفة في البيتون وهو ما يفسح المجال واسعاً للتفكير باستخدامها في بيتون المنشآت المدنية، على الرغم من عدم ملائمة الحصويات المعاد تدويرها من حيث قساوتها للإستخدام في البيتون وفق معايير المواصفات العالمية والتي تتطلب قيماً لمعامل الاهتراء لا تزيد عن 30% فقد أعطت عند استخدامها مع الحصويات الطبيعية مقاومات جيدة يصلح معها البيتون للإستخدام في العناصر الإنشائية.



الشكل (4-17) مقارنة بين عينات البيتون التي تحتوي على حصويات معاد تدويرها بعد كسرها على الضغط وعينات من البيتون تحوي على حصويات طبيعية



الشكل (3-17) عينات البيتون التي تحتوي على حصويات معاد تدويرها بعد كسرها على الضغط

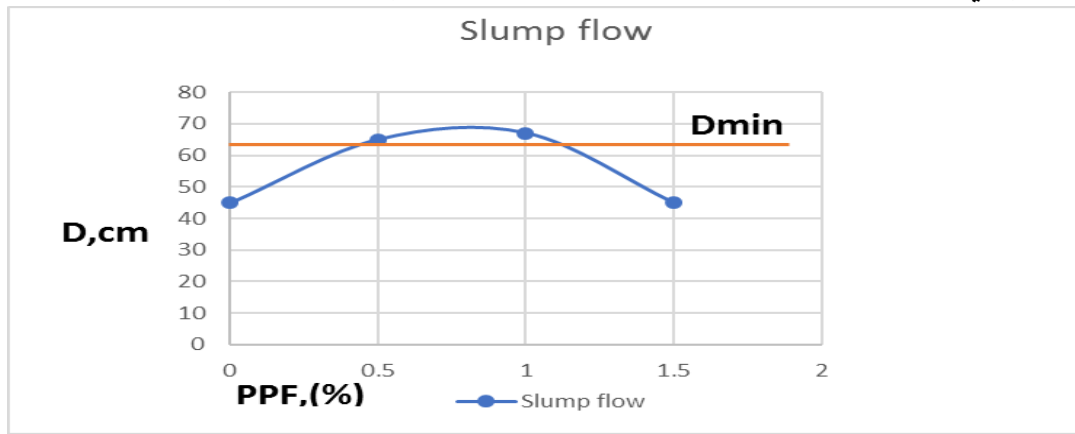
الفصل الرابع

دراسة وتحليل النتائج المخبرية

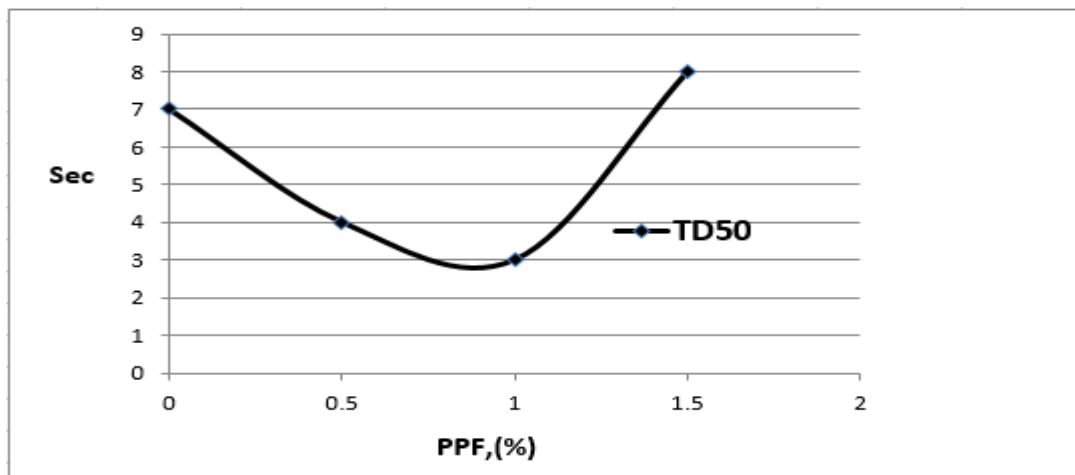
في هذا الفصل سنتناول بالعرض والتحليل لأهم النتائج الناتجة عن الخلطات التجريبية التي تم تصميمها.

4-1- قطر الانتشار وزمن T500:

عند إجراء التجارب الخاصة بقابلية البيتون ذاتي التوضع للماء وباستخدام نسب مختلفة من ألياف البولي بروبيلين (0% - 0.5% - 1% - 1.5%) لاحظنا أنه من أجل خلطات البيتون ذاتي التوضع التي لها نفس نسبة الماء إلى الإسمنت ومن أجل الكمية نفسها من المواد الإسمنتية، نلاحظ من خلال الشكل (4-1) بأنه مع ازدياد نسبة الألياف يزداد قطر الانتشار حتى نسبة ألياف 1% من وزن الاسمنت وبعدئذ يبدأ قطر الانتشار بالتناقص أي أن الزيادة الكبيرة لمحتوى الألياف في الخلطة سيقلل من قطر الانتشار وذلك لأن الألياف تسهم في زيادة تماسك الخرسانة وانخفاض قابلية التشغيل (سرعة الجريان).



الشكل (4-1) العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين (PP%) وقطر الانتشار

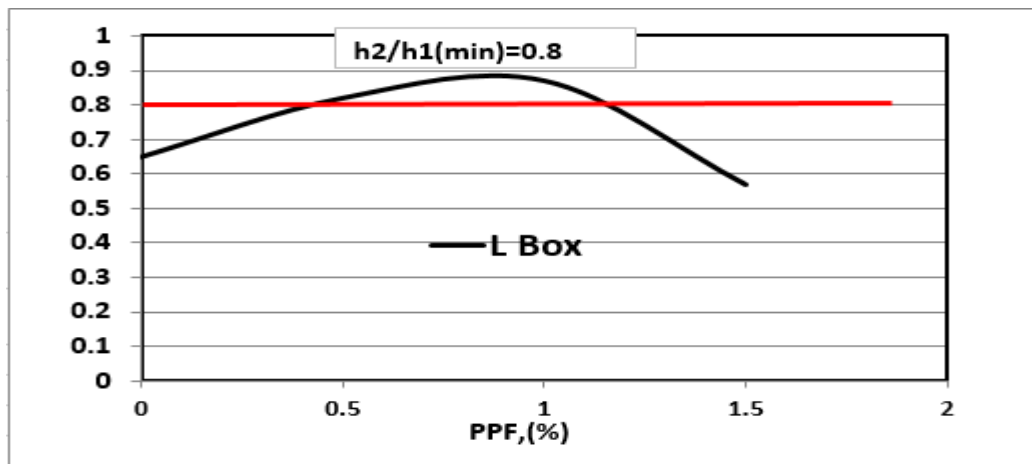


الشكل (4-2) العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين (PP%) وزمن الانتشار

نلاحظ من خلال الشكل (2-4) تناقص الزمن اللازم لانتشار الخرسانة مع زيادة نسبة ألياف البولي بروبيلين إلى حد معين (1% ألياف من وزن الاسمنت) ثم يبدأ بالازدياد مع زيادة هذه النسبة.

2-4- قابلية المرور:

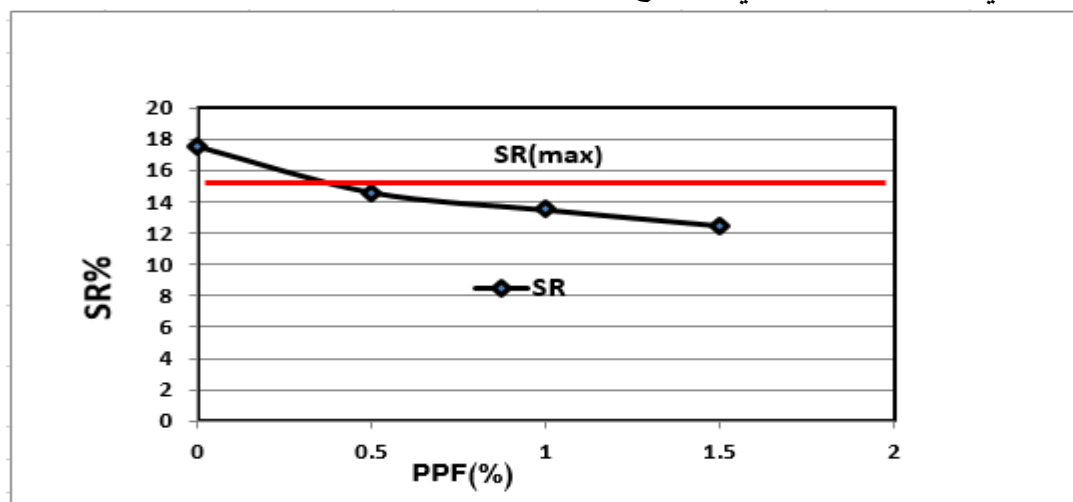
لاحظنا أنه من أجل خلطات البيتون ذاتي التوضع التي لها نفس نسبة الماء إلى الإسمنت ومن أجل الكمية نفسها من المواد الإسمنتية فإنه كلما قلت نسبة ألياف البولي بروبيلين في الخلطة ، تحسنت قابلية المرور للبيتون ذاتي. تزداد النسبة h_2/h_1 حتى نسبة ألياف 1% من وزن الاسمنت ثم تتناقص هذه النسبة مع زيادة نسبة الألياف.



الشكل (3-4) العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين (PP%) وقابلية المرور

3-4- الثبات وقابلية الانفصال:

لاحظنا أن مقاومة البيتون ذاتي التوضع للانفصال تزداد بازدياد لزوجة وتجانس البيتون والذي ظهر بازدياد نسبة الألياف في خلطات البيتون ذاتي التوضع



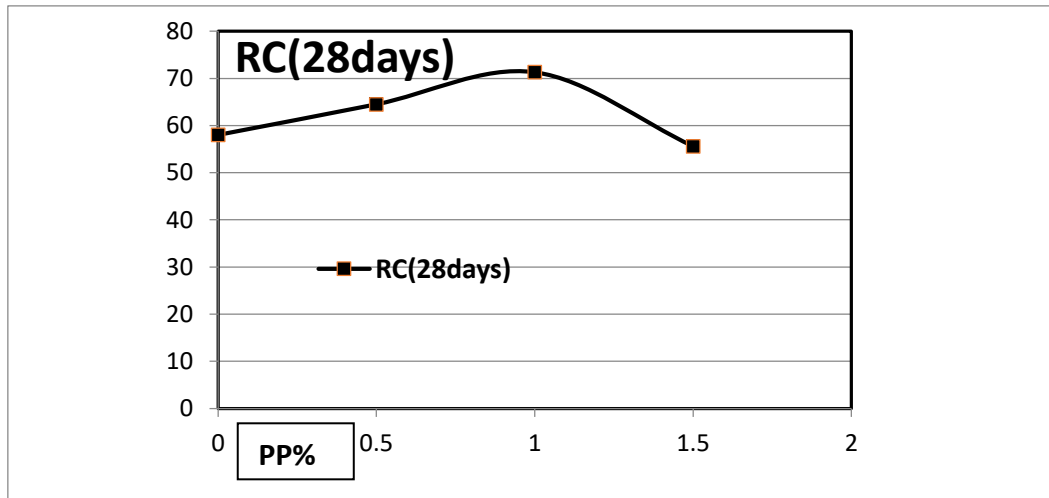
الشكل (4-4) العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين (pp%) والثبات

فالخلطات ذات المحتوى الأعلى من ألياف البولي بروبيلين تتميز بمقاومة أعلى للإنفصال بسبب تجانس البيتون ذاتي التوضع وبالتالي ازدياد ثبات واستقرار البيتون ذاتي التوضع مع ازدياد محتوى الألياف في الخلطات.

4-4- مقاومة البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة:

هذا وقد بلغت أعلى مقاومة من أجل النسبة $W/C=0.3$ على عمر معالجة 28 يوم 73 MPa وذلك باستخدام 5 كغ/م³ من ألياف البولي بروبيلين و 15 كغ ملدن .

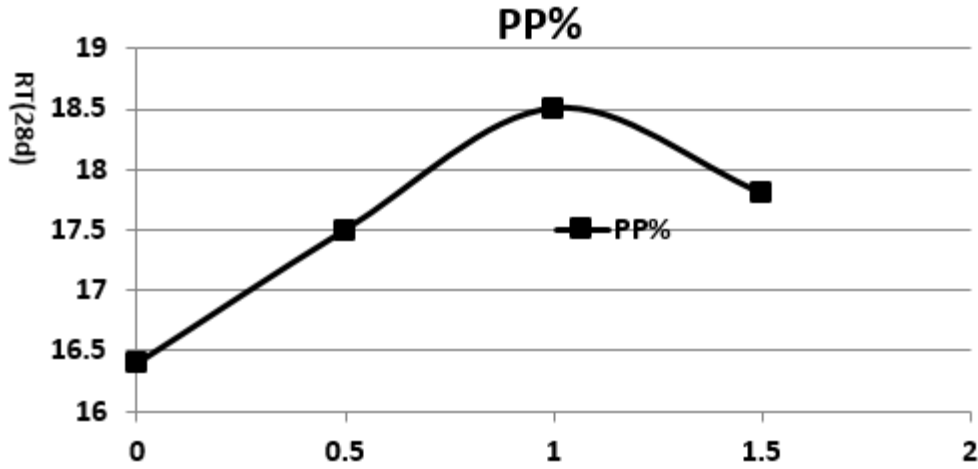
4-4-1- المقاومة على الضغط :



الشكل (4-5) العلاقة بين نسبة ألياف البولي بروبيلين (PP%) والمقاومة على الضغط

تزداد المقاومة على الضغط مع زيادة نسبة الألياف حتى نسبة (1%) من وزن الاسمنت (بالنسبة لألياف البولي بروبيلين) لأن إضافة الألياف يساهم في زيادة تماسك الخلطة الذي يؤدي إلى زيادة المقاومة على الضغط , ثم تنخفض المقاومة مع زيادة نسبة الألياف بنسبة أكبر من (1%) من وزن الاسمنت لألياف البولي بروبيلين لأن إضافة الألياف بنسب أعلى يرافقها زيادة في المسامية التي تؤدي إلى تناقص المقاومة . حيث بينت الدراسة أن إضافة ألياف البولي ساهم في تحسين المقاومة على الضغط,, إذ ترواحت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط (10%-30%) من مقاومة الضغط للخرسانة التي لا تحتوي على ألياف .

4-4-2- المقاومة على الشد:

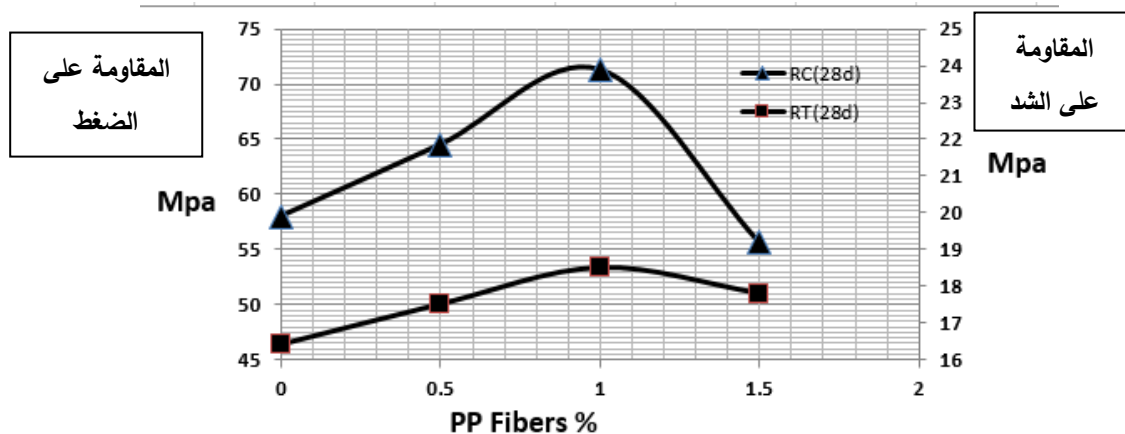


الشكل (4-6) العلاقة بين نسبة ألياف (PP%) والمقاومة على الشد بالانعطاف

تزداد المقاومة على الشد مع زيادة نسبة الألياف حتى نسبة (1%) من وزن الاسمنت بالنسبة لألياف البولي بروبيلين تبدأ بعدها المقاومة بالانخفاض مع زيادة نسبة الألياف في الخلطة.

حيث أنَّ إضافة الألياف إلى الخلطة ساهم في زيادة المقاومة على الشد بنسبة تتراوح بين (10%-20%) من مقاومة الشد للخرسانة (التي لاتحتوي على الألياف)

يبين الشكل (4-7) العلاقة بين المقاومة على الضغط وعلى الشد لكل من الخلطات التي تحتوي على ألياف البولي بروبيلين



الشكل (4-7) العلاقة بين المقاومة على الشد وعلى الضغط على عمر 28 يوم للخلطة البيتونية ذاتية التوضع عالية المقاومة بإضافة ألياف البولي بروبيلين

4-5- كلفة البيتون ذاتي التوضع والبيتون ذاتي التوضع المدعم بالألياف:

عند إضافة الألياف ترتفع كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع وإنَّ هذا الارتفاع بالكلفة يزداد بشكل أكبر كلما ازدادت كميته أكثر في الخلطة إلا أنَّ خواص البيتون ذاتي التوضع المدعم بالألياف ومقاومته تتحسن وتزداد بشكل أكبر.

4-5-1- كلفة إنتاج وصب متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع:

الجدول (4-1) كلفة إنتاج متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع

المادة	السعر
الاسمنت	7 أكياس سعر الكيس 2800 ليرة سورية = 19600
حصويات مع أجور النقل	10000
البودرة filler	$(4500 * 3) = 13500$
الملدنات	$(3000 * 15) = 45000$
المجموع	88100 ليرة سورية

4-5-2- كلفة إنتاج وصب متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة المدعم بالألياف:

الجدول (4-2) كلفة إنتاج متر مكعب من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

المادة	السعر
الاسمنت	7 أكياس سعر الكيس 3500 ليرة سورية = 24500
حصويات مع أجور النقل	10000
الملدنات	$(3000 * 15) = 45000$
الألياف	18000
المجموع	97500 سورية

من التحليل السابق نلاحظ أنَّ سعر المتر المكعب من البيتون ذاتي التوضع المدعم بالألياف يزداد بمقدار 10.6% عن سعر المتر المكعب من البيتون ذاتي التوضع , ولكن بالنظر إلى الفوائد التي يقدمها البيتون الذاتي التوضع المدعم بالألياف من حيث قابلية تشغيله العالية وزيادة المقاومة . يمكننا القول بأن هذه الفوائد توازي الزيادة في التكلفة الاقتصادية من حيث الأهمية.

النتائج والتوصيات

النتائج:

- ١- تسهم إضافة الألياف في إنتاج بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة يحقق كافة متطلبات البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة إلا أن ذلك يتعلق بنوع وطبيعة هذه الألياف.
- ٢- إن إضافة الألياف والملدنات إلى خلطات البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة يزيد من خواصه المتعلقة بالتجانس والتماسك وقابلية الملء ومقاومته للانفصال.
- ٣- يدل الجريان المناسب للخطة المصممة على توافق جيد بين عمل الملدن والبودرة (filler) والألياف حيث ساهم في تحسين قابلية التشغيل بشكل واضح .
- ٤- إن نسبة المقاومة على الضغط إلى المقاومة على الشد بحدود 3/ بينما تتراوح هذه النسبة في البيتون العادي ما بين (8-10) وهذا يشير إلى زيادة مقاومة الشد مع الألياف.
- ٥- إن إضافة ألياف البولي بروبيلين ساهم في زيادة المقاومة على الضغط (10-30)% وزيادة المقاومة على الشد بالانعطاف بنسبة تتراوح (10-20)% من مقاومة البيتون الذي لا يحوي على هذه الألياف.
- ٦- بعد إجراء تحليل اقتصادي خاص بسعر المتر المكعب للبيتون ذاتي التوضع والبيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة المدعم بالألياف تبين أن كلفة إنتاج الأخير تزيد بحوالي 10.6% من البيتون التوضع وهي نسبة مقبولة ولاتعد عالية قياساً بالإمكانيات الكبيرة التي يوفرها استخدام البيتون ذاتي التوضع.

التوصيات:

١. التوسع في البحث ليشمل إجراءات تطبيقات تجريبية على البيتون المسلح كتجارب الالتحام والقص وغيرها.
٢. ضرورة إجراء تجارب تطبيقية أخرى على البيتون مثل تجارب النفاذية، الشد، الاحتكاك.
٣. التوسع في البحث ليشمل استخدام الألياف الفولاذية بأطوال وأقطار مختلفة أي بمعامل نحافة مختلف بالإضافة إلى استخدام الألياف الصناعية.
٤. إجراء دراسات وأبحاث معمقة حول ديمومة البيتون ذاتي التوضع لماء البحر والأوساط المخربة الحامضية أو القلوية كالمنشآت الشاطئية والصناعية.

الملحق (١)

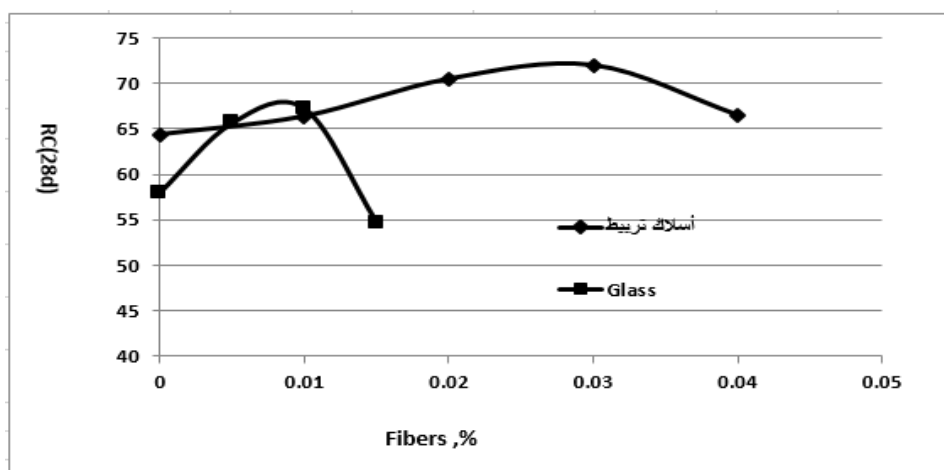
تم إجراء تجارب مماثلة للتجارب السابقة وبنفس نسب المواد الداخلة في تركيبها ولكن باستخدام نوعين إضافيين من الألياف : أحدهما نظامية وهي الألياف الزجاجية (Glass fibers) والآخرى غير نظامية وهي عبارة عن أسلاك تربيط تستخدم في أعمال تسليح المنشآت البيتونية المسلحة وذلك لإغناء البحث حيث أعطت هذه الألياف الأخيرة نتائج مميزة تفتح باباً جديداً لضرورة البحث عن ألياف فولاذية نظامية واستخدامها في أبحاث جديدة.

- ألياف زجاجية بطول 14mm وقطر 0.3mm وكثافتها 960 Kg/m^3 ومقاومتها على الشد 250 N/mm^2 ونسبة الاستطالة 14% , وتم إضافتها بنسب (0-0.5-1-1.5)% من وزن الاسمنت.

- أسلاك تربيط بقطر 0.5mm تم تقطيعها بطول 3cm وطرقها من خلال مطرقة بحيث أصبحت غير ملساء وتم إضافتها بنسب (1-2-3-4)% من وزن الاسمنت

الجدول (1-1) نتائج المقاومة على الضغط على عمر 28 يوم باستخدام الألياف الزجاجية وأسلاك التربيط

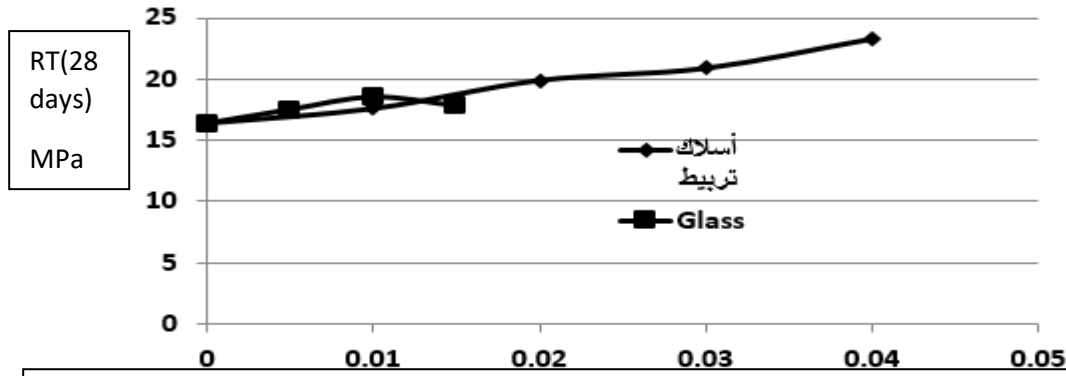
				نسبة الألياف %	نتائج المقاومة على الضغط (RC)(Mpa)		
	رقم الخطة	W/C	D(cm)		7 days	28 days	60 days
	Ref1	0.3	65	0%	32.9	41.8	43.1
	Ref2	0.3	45	0%	48	58	67
Glass fibers (ألياف زجاجية)	1	0.3	64	0.5%	48.7	65.7	66.7
	2	0.3	65	1%	51.6	67.3	69.38
	3	0.3	44	1.5%	44	54.7	56.4
	4	0.3	68	1%	54.1	70.2	72.5
أسلاك تربيط مقطعة		0.3	64	1%	49.5	66.4	68.4
		0.3	62	2%	54.2	70.5	72.68
		0.3	43	3%	55.2	72	74.22
		03	42	4%	51.2	66.5	68.6



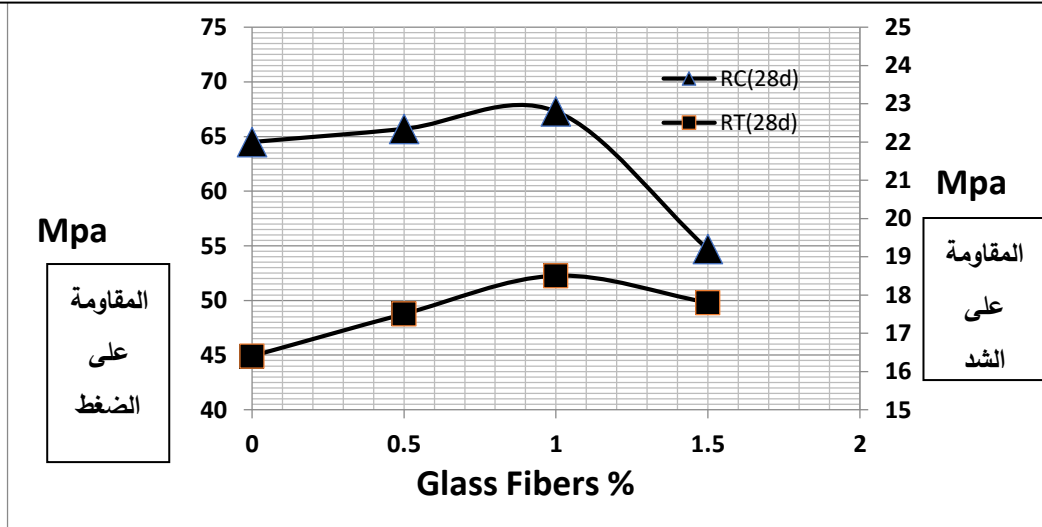
الشكل (1-1) العلاقة بين المقاومة على الضغط (RC) و(الألياف الزجاجية - أسلاك التبريط) على عمر 28 يوم

الجدول (2-1) نتائج المقاومة على الشد على عمر 28 يوم باستخدام الألياف الزجاجية وأسلاك التبريط

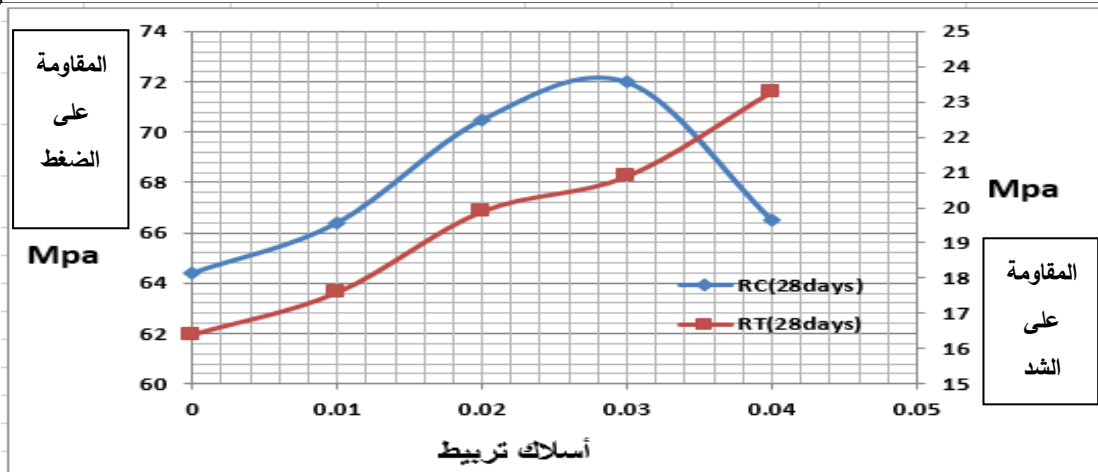
				نسبة الألياف %	نتائج المقاومة على الشد (RT)(Mpa)		
	رقم الخلطة	W/C	D(cm)		7 days	28 days	60 days
	Ref1	0.3	65	0%	12.8	15.3	16.3
	Ref2	0.3	45	0%	14.2	16.4	17.5
Glass fibers	1	0.3	64	0.5%	14.5	17.5	17.9
	2	0.3	65	1%	17.4	18.5	19.3
	3	0.3	44	1.5%	15.3	17.8	18.1
	4	0.3	68	1%	17.6	19	19.8
أسلاك تبريط مقطعة		0.3	64	1%	15.4	17.6	18
		0.3	62	2%	16.9	19.9	21.4
		0.3	43	3%	18.3	20.9	22.3
		03	42	4%	19.8	23.3	25.1



الشكل (1-2) العلاقة بين المقاومة على الشد (RT) و(الألياف الزجاجية - أسلاك التربيط) على عمر 28 يوم



الشكل (1-3) العلاقة بين المقاومة على الضغط والمقاومة على الشد على عمر 28 يوم للمخلطة البيتونية ذاتية التوضع عالية المقاومة بإضافة الألياف الزجاجية



الشكل (1-4) العلاقة بين المقاومة على الضغط والمقاومة على الشد على عمر 28 يوم للمخلطة البيتونية ذاتية التوضع عالية المقاومة بإضافة أسلاك تربيط



الشكل (1-5) صور أسلاك التريبط



الشكل (1-6) صور ألياف زجاجية

نلاحظ من النتائج السابقة:

١- تزداد المقاومة على الضغط مع زيادة نسبة الألياف الزجاجية حتى نسبة (1%) من وزن الاسمنت بينما تزداد المقاومة على الضغط مع زيادة نسبة أسلاك التريبط المقطعة حتى النسبة (3)%. وذلك لأن إضافة كل من الألياف الزجاجية والأسلاك المقطعة يسهم في زيادة تماسك الخلطة الذي يؤدي بدوره إلى زيادة المقاومة على الضغط، ثم تنخفض المقاومة مع زيادة نسبة الألياف بنسبة أكبر من (1%) من وزن الاسمنت للألياف الزجاجية وبنسبة أكبر من (3%) من وزن الاسمنت لأسلاك التريبط المقطعة لأن إضافة الألياف بنسب أعلى يرافقها زيادة في المسامية التي تؤدي إلى تناقص المقاومة.

٢- تزداد المقاومة على الشد مع زيادة نسبة الألياف الزجاجية حتى النسبة (1%) من وزن الاسمنت بينما تزداد المقاومة على الشد مع زيادة نسبة أسلاك التريبط المقطعة في الخلطة.

المراجع العلمية :

1. APPLICATIONS OF SELF-COMPACTING CONCRETE IN JAPAN, EUROPE AND THE UNITED STATES Masahiro Ouchi, Kochi University of Technology, Kochi, Japan Sada-aki Nakamura, PC Bridge Company, Ltd., Tokyo, Japan
2. Self-Compacting Concrete, Hajime Okamura and Masahiro Ouchi, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April 2003 / Japan Concrete Institute.
3. BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC, the European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, 2005.
4. American Society for Testing Materials , ASTM 1994 .
5. SCC, Self-Compacting Concrete, Guidelines, task 9 , End product.
6. S.BETHMONT, Mécanismes de ségrégation dans les BAP, thèse de docteur de l'école nationale des ponts et des chaussées 2005.
7. Miao et al ,A new method for mix design of medium strength concrete with low cement ,Cement Concrete Composites 25 (2003) 215-222
8. ACI Committee 363, State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete, 363R-92, reapproved 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 55 pages.
9. ACI Committee 211, Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement, ACI 211.4- 93, reapproved 1998, 21-American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998, 13 pages.
10. P. Soroushian, Mirza, F. and Alhozaimy "Permeability Characteristics of Polypropylene fiber reinforced concrete" ACI materials journal, V.92, No.3, pp 291-295, May-June 1995.
11. "Impact Resistance of Concrete Containing both Conventional Steel Reinforcement and Fabricated Polypropylene Fibers.", ACI Material journal, November/December, pp.545-549.

12. V.M.MALHOTRA, Matériaux Complementaires en Cimentation . CANMET, CANADA 1989.
13. A.G.CARLES , Travaux Pratiques des Bétons et des matériaux , I.N.S.A , de Toulouse, 1987.
14. R.GANGE . Durabilite des Betons a Hantes performances (ph.D) universite Laval , QUEBEC , CANAD 1992
15. J.P.OLLIVIER , Microstructure et permeabilite aux gaz des Betons de Hautes Performances , FRANCE 1992
16. P.C.ATTCIN et al , La penetration des ions chlore dans les Betons a Hautes Performances . FRANCE , 1992
17. A.CARLES – GIBERGUES et al, La Permeabilite vue Par le Chercheur B.H.P. FRANCE , 1992
18. K. Turk¹, P. Turgut¹, M. Karatas², A. Benli³ ; Mechanical Properties of Self-compacting Concrete with Silica Fume/Fly Ash,2010.
19. P. Simonsson, Buildability of Concrete Structures Processes, Methods and Material,2011.
- 20.P. Simonsson and M. Emborg , Increasing productivity through utilization of new construction techniques and Lean Construction philosophies in civil engineering projects.
21. –[http://www.Bridgepros.com/projects/lepontde /Normandie](http://www.Bridgepros.com/projects/lepontde/Normandie)
- 22- تأثير الإضافات في السلوك الريولوجي للبيتون ذاتي التوضع (الارتصاص), د. أيمن لفلوف, جامعة البعث, 2016-
- 23- Journal of Babylon University/Engineering Sciences/ No.(5)/ Vol.(21), 2013
- 24-DREUX,G. ,FESTA J .Nouveau guide du Béton et de ses constituents, Eyrolles, Paris, FRANCE 1998, 409.
- 25.A.NEVEILE , Properties of concrete 1984.