



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم هندسة الإدارة والتشييد

**تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد
المحلية وأهميته في صناعة التشييد**

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية-قسم الإدارة الهندسية والتشييد

إعداد

المهندس صلاح الدين عدنان الحريري

إشراف

الدكتور المهندس مفيد العيد

دمشق 2013

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم هندسة الإدارة والتشييد

تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد
المحلية وأهميته في صناعة التشييد

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية-قسم الإدارة الهندسية والتشييد

إعداد

المهندس صلاح الدين عدنان الحريري

إشراف

الدكتور المهندس مفيد العيد

أعضاء لجنة الحكم:

عضوا مشرفا

د.م. مفيد العيد

عضوا

د.م. رياض الحسين

عضوا

د.م. محمد بشار الحفار

شكر وتقدير

الشكر لله عز وجل أولاً الذي أعانني على إنجاز هذه الرسالة المتواضعة، وبعد ذلك إلى جامعتي جامعة دمشق التي قدمت لي كل العون والمساعدة عن طريق خيرة الأساتذة جزاهم الله خير الجزاء.

:وبعد توجيهي الشكر لله عز وجل أجد نفسي مديناً بالوفاء والعرفان لأستاذائي الفاضلين

الدكتور المهندس مفيد العيد.

الدكتور المهندس أندراوس سعود.

اللذان تفضلاً بالإشراف على هذه الرسالة واللذان قدما لي النصح والإرشاد والمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث، فلهما مني عظيم الشكر والتقدير والعرفان.

الباحث

المهندس: صلاح الدين عدنان الحريري

فهرس المحتويات

1	فهرس الجداول
4	فهرس الأشكال والمنحنيات
5	فهرس الصور
7	الملخص
8	المقدمة
الفصل الأول: مدخل إلى البيتون ذاتي التوضع	
13	1-1 تعريف البيتون ذاتي التوضع
13	2-1 فوائد البيتون ذاتي التوضع
14	3-1 التطور التاريخي للبيتون ذاتي التوضع
19	4-1 خصائص البيتون ذاتي التوضع
19	1-4-1 التشغيل
19	1-1-4-1 قابلية الملى
20	2-1-4-1 قابلية المرور
21	3-1-4-1 ثبات البيتون
22	2-4-1 متطلبات التشغيل للبيتون ذاتي التوضع
25	3-4-1 ضبط جودة البيتون ذاتي التوضع الطازج
25	1-3-4-1 اختبارات التشغيل
26	1-1-3-4-1 اختبار قطر الانتشار وزمن T500
27	2-1-3-4-1 مؤشر الثبات المرئي VSI
30	3-1-3-4-1 اختبار V-Funnel
30	4-1-3-4-1 اختبار L-Box
32	5-1-3-4-1 اختبار الاستقرار في المنخل

الفصل الثاني: إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

- 34..... 1-2 المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة
- 34..... 1-1-2 الحصى الخشن (البحص)
- 34..... 1-1-1-2 الخواص الفيزيائية للحصى الخشن
- 35..... 2-1-1-2 التدرج الحبي
- 35..... 2-1-2 الحصى الناعمة
- 36..... 1-2-1-2 الخواص الفيزيائية للحصى الناعمة
- 36..... 2-2-1-2 التدرج الحبي
- 38..... 3-1-2 الإسمنت البورتلاندي
- 38..... 4-1-2 المواد الإسمنتية الثانوية (Supplementary Cement Material)
- 39..... 1-4-1-2 السيليكا فيوم (Silica fume)
- 39..... 2-4-1-2 الرماد المتطاير (Fly ash)
- 39..... 3-4-1-2 خبث الحديد (GGBFS)
- 39..... 4-4-1-2 الزيوليت (Zeolite)
- 40..... 5-1-2 الخلطات (Admixtures)
- 40..... 6-1-2 الماء
- 41..... 2-2 خطوات تصميم الخلطة
- 42..... 1-2-2 محتوى الحصى الخشن
- 43..... 2-2-2 محتوى البودرة والماء
- 43..... 3-2-2 حجم الملاط والمورتر

الفصل الثالث: العمل المخبري لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

- 46..... 1-3 خصائص المواد المستخدمة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة
- 46..... 1-1-3 الإسمنت البورتلاندي
- 46..... 2-1-3 الحصى الخشن
- 47..... 1-2-1-3 البحص الفولي

48	2-2-1-3 البحص العدسي
49	3-1-3 الحصىات الناعمة
49	1-3-1-3 رمل الكسر
50	2-3-1-3 رمل المزار
51	4-1-3 المواد الإسمنتية الثانوية (SCM)
51	1-4-1-3 السيلكا فيوم
52	5-1-3 الخلائط
52	1-5-1-3 مخفضات الماء عالية الأداء (الملدنات)
52	6-1-3 الماء
52	2-3 نسب المواد المستخدمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة
53	1-2-3 النسبة المائية الإسمنتية (w/c+s)
54	2-2-3 الحصىات
55	3-3 إجراء الخلطات التجريبية
56	1-3-3 التجارب المنجزة
57	2-3-3 خلط البيتون
58	3-3-3 ضبط الجودة
58	1-3-3-3 اختبار قطر الانتشار وزمن T500
59	2-3-3-3 اختبار L-Box
60	3-3-3-3 اختبار الاستقرار في المنخل
61	4-3-3 صب البيتون
62	5-3-3 معالجة البيتون
62	6-3-3 كسر العينات
64	4-3 انتاج البيتون العادي

الفصل الرابع: دراسة وتحليل النتائج المخبرية

- 1-4 قطر الإنتشار وزمن T500 69
- 2-4 قابلية المرور 70
- 3-4 الثبات وقابلية الانفصال 70
- 4-4 مقاومة البيتون ذاتي التوضع 72
- 5-4 مقاومة البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع 77
- 6-4 كلفة البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع 80

الفصل الخامس: ضخ البيتون

- 1-5 ضخ البيتون 84
- 1-1-5 البيتون المضخوخ 84
- 2-1-5 ضخ البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع 86
- 3-1-5 إستعصاء المضخة 90
- 1-3-1-5 خلطة البيتون 90
- 2-3-1-5 تسريب خطوط الضخ 90
- 3-3-1-5 خطأ المشغل 91
- 4-1-5 الأمن والسلامة أثناء عملية الضخ 91
- 5-1-5 حساب ضغط المضخة 92
- 6-1-5 ضخ البيتون أثناء تنفيذ برج خليفة- دبي 93

الفصل السادس: صب البيتون

- 1-6 صب البيتون العادي 97
- 2-6 صب البيتون ذاتي التوضع 99
- 3-6 السطوح النهائية 102
- 4-6 أعمال المعالجة 103
- 5-6 بيئة العمل (working environment) 104

106	1-5-6 تكاليف الصحة والسلامة
	الفصل السابع: ضغط البيتون على الكوفراج
110	1-7 تعريف الكوفراج
111	2-7 العوامل المؤثرة على الضغط الجانبي على الكوفراج
111	1-2-7 المواد
111	2-2-7 شروط أو ظروف الصب
112	3-2-7 خصائص الكوفراج
112	4-2-7 رج البيتون
112	3-7 حساب الضغط الجانبي للبيتون على الكوفراج
112	1-3-7 الضغط الجانبي للبيتون العادي
115	2-3-7 ضغط البيتون ذاتي التوضع على الكوفراج
116	1-2-3-7 بعض الدراسات التي أجريت لقياس الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على الكوفراج:
118	4-7 أمثال تطبيقي
125	النتائج والتوصيات
127	المراجع
130	الملاحق
140	المصطلحات العلمية

فهرس الجداول

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الجدول
15	استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشرروع pedestrain	(1-1)
16	استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشرروع National museum	(1-2)
17	استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشاريع مسبقة الصنع	(1-3)
18	استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشرروع برج دبي	(1-4)
20	العوامل المؤثرة على قابلية الملئ	(1-5)
21	العوامل المؤثرة على قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع	(1-6)
22	العوامل المؤثرة على ثبات البيتون ذاتي التوضع	(1-7)
23	متطلبات درجة التشغيل	(1-8)
24	أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب خواصه	(1-9)
24	أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب قطر الانتشار	(1-10)
24	أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب اللزوجة	(1-11)
25	مجالات استخدام الأصناف المختلفة للبيتون ذاتي التوضع	(1-12)
26	اختبارات البيتون ذاتي التوضع	(1-13)
28	مؤشر الثبات المرئي للبيتون ذاتي التوضع	(1-14)
37	المجالات النظامية للحصويات الخشنة	(2-1)
38	المجال النظامي للرمل	(2-2)
38	أصناف المواد الإسمنتية الثانوية	(2-3)
43	محتوى البودرة للبيتون ذاتي التوضع حسب الكود الأمريكي	(2-4)
44	نسب المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع حسب الكود الأمريكي	(2-5)
44	نسب المواد حسب الدليل الأوروبي	(2-6)
47	نتائج التدرج الحبي للبحص الفولي	(3-1)
48	الوزن النوعي والإمتصاص للبحص الفولي والعدسي	(3-2)
48	التدرج الحبي للبحص العدسي	(3-3)
49	التدرج الحبي لرمل الكسر	(3-4)
50	الوزن النوعي والإمتصاص لرمل الكسر والمزار	(3-5)
51	التدرج الحبي لرمل المزار	(3-6)
57	خلطات البيتون ذاتي التوضع المصممة	(3-7)
58	التجارب المنجزة	(3-8)
59	نتائج قطر وزمن الانتشار	(3-9)

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الجدول
60	نتائج قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع	(3-10)
61	نتائج تجربة الإستقرار في المنخل	(3-11)
63	المقاومة المتوسطة لعينات البيتون ذاتي التوضع	(3-12)
65	مواصفات المواد الداخلة في البيتون العادي	(3-13)
65	نسب الحصويات للبيتون العادي	(3-14)
66	نتائج هبوط المخروط للبيتون العادي	(3-15)
67	المقاومة المتوسطة لعينات البيتون العادي المصممة	(3-16)
69	قطر الانتشار وزمن T500 من أجل C+S=500 Kg/m ³	(4-1)
69	قطر الانتشار وزمن T500 من أجل C+S=525 Kg/m ³	(4-2)
70	قطر الانتشار وزمن T500 من أجل C+S=550 Kg/m ³	(4-3)
70	قابلية المرور من أجل C+S=500 Kg/m ³	(4-4)
70	قابلية المرور من أجل C+S=525 Kg/m ³	(4-5)
70	قابلية المرور من أجل C+S=550 Kg/m ³	(4-6)
71	مقاومة الانفصال من أجل C+S=500 Kg/m ³	(4-7)
71	مقاومة الانفصال من أجل C+S=525 Kg/m ³	(4-8)
71	مقاومة الانفصال من أجل C+S=550 Kg/m ³	(4-9)
75	الإنحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع	(4-10)
80	أسعار المواد الداخلة في إنتاج البيتون	(4-11)
81	كلفة إنتاج البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع	(4-12)
81	نتائج البيتون ذاتي التوضع باستخدام نواتج حرق الفبول	(4-13)
82	البيتون ذاتي التوضع باستخدام الزيوليت	(4-14)
92	نتائج ضغط المضخة اللازم لصب البيتون	(5-1)
98	تأثير قابلية التشغيل على عملية الرج والزمن اللازم لها	(6-1)
101	كلفة صب البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع في أحد المشاريع	(6-2)
101	كلفة صب البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع في أحد المشاريع	(6-3)
103	المواصفات الخاصة بمعالجة أنواع البيتون	(6-4)
105	مستوى الضجيج المسموح بها	(6-5)
108	معامل المخاطر الناتجة عن الجهد العضلي في حال صب البلاطات	(6-6)
108	معامل الخطر البيئي الناتج عن صب البلاطات	(6-7)
108	معامل المخاطر الناتجة عن الجهد العضلي في حال صب الجدران	(6-8)

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الجدول
108	معامل الخطر البيئي الناتج عن صب الجدران	(6-9)
114	معامل وحدة الوزن	(7-1)
115	المعامل الكيميائي	(7-2)
120	تصميم الكوفراج للبيتون العادي، الحالة الأولى، بالوحدات الدولية	(7-3)
120	تصميم الكوفراج لل(SCC)، الحالة الأولى، بالوحدات الدولية	(7-4)
121	تصميم الكوفراج للبيتون العادي، الحالة الثانية، بالوحدات الدولية	(7-5)
122	تصميم الكوفراج لل(SCC)، الحالة الثانية، بالوحدات الدولية	(7-6)
122	ملخص تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية	(7-7)

فهرس الأشكال والمنحنيات

رقم المنحني	التوصيف	رقم الصفحة
(3-1)	التدرج الحبي للبحص الفولي	47
(3-2)	التدرج الحبي للبحص العدسي	49
(3-3)	التدرج الحبي لرمل الكسر	50
(3-4)	التدرج الحبي لرمل المزار	51
(3-5)	التدرج الحبي للبحص الفولي والعدسي بعد المزج	55
(3-6)	التدرج الحبي لرمل الكسر والمزار بعد المزج	55
(4-1)	مقاومة البيتون ذاتي التوضع مع الزمن (C+S=550kg/m ³)	73
(4-2)	مقاومة البيتون ذاتي التوضع مع الزمن (C+S =525kg/m ³)	73
(4-3)	مقاومة البيتون ذاتي التوضع مع الزمن (C+S=500kg/m ³)	74
(4-4)	الإنحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع (Silica=10%)	76
(4-5)	الإنحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع (Silica=5%)	76
(4-6)	الإنحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع (Silica=0%)	77
(4-7)	مقاومة البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع W/C=0.35	78
(4-8)	مقاومة البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع W/C=0.32	78
(4-9)	مقارنة الإنحراف المعياري للبيتون العادي وذاتي التوضع W/C=0.32	79
(4-10)	الإنحراف المعياري للبيتون العادي وذاتي التوضع W/C=0.35	79
رقم الشكل	التوصيف	رقم الصفحة
(1-1)	مخروط أبرامز	26
(1-2)	جهاز V-Funnel	30
(1-3)	جهاز L-Box	31
(7-1)	مغلف الضغط الجانبي حسب المركز الفرنسي	116
(7-2)	مغلف الضغط حسب Tejada	117

فهرس الصور

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الصورة
27	كيفية قياس قطر الانتشار	(1-1)
28	بيتون ذاتي التوضع عالي الثبات	(1-2)
29	بيتون ذاتي التوضع ثابت	(1-3)
29	بيتون ذاتي التوضع قليل الثبات	(1-4)
30	بيتون ذاتي التوضع منخفض الثبات	(1-5)
31	تجربة قابلية المرور	(1-6)
58	قياس قطر الانتشار	(3-1)
58	قياس قطر الانتشار	(3-2)
59	اجراء تجربة قابلية المرور	(3-3)
60	تجربة الاستقرار في المنخل	(3-4)
61	صب العينات البيتونية	(3-5)
62	العينات البيتونية بعد فك القوالب	(3-6)
64	جهاز كسر العينات البيتونية	(3-7)
64	عينة بيتونية بعد الكسر	(3-8)
65	اختبار هبوط المخروط للبيتون العادي	(3-9)
66	عينات من البيتون العادي بعد التصلب	(3-10)
71	ثبات البيتون ذاتي التوضع مع ازدياد نسبة السيليكا فيوم في الخلطة	(4-1)
72	ظهور طبقة صفراء اللون لخلطات ال (SCC) الخالية من السيليكا	(4-2)
85	حوض الإستقبال في المضخة	(5-1)
85	عملية ضخ البيتون	(5-2)
87	ضخ البيتون من الأعلى	(5-3)
87	ضخ البيتون من الأسفل	(5-4)
88	كيفية صب البيتون ذاتي التوضع من الأسفل	(5-5)
88	الفتحة التي تم صب البيتون ذاتي التوضع منها بعد إغلاقها	(5-6)
89	ضغط المضخة اللازم لصب البيتون	(5-7)
91	أهم الإشارات المتداولة أثناء عملية ضخ البيتون	(5-8)
93	أنابيب الضخ	(5-9)
94	المضخات المستخدمة أثناء صب برج دبي	(5-10)
95	ضخ البيتون ذاتي التوضع أثناء تنفيذ برج دبي	(5-11)

رقم الصفحة	التوصيف	رقم الصورة
95	ضح البيتون ذاتي التوضع أثناء تنفيذ برج دبي	(5-12)
99	كيفية رج البيتون	(6-1)
100	صب البيتون العادي	(6-2)
100	صب البيتون ذاتي التوضع	(6-3)
102	السطح النهائي للبيتون العادي	(6-4)
102	أعمال الاصلاح	(6-5)
102	السطح النهائي للبيتون ذاتي التوضع	(6-6)
107	مراحل عملية الرج والتي تتطلب الخبرة والجهد العضلي	(6-7)
110	الكوفراج	(7-1)

الملخص:

إن البيتون ذاتي التوضع هو بيتون ذو قابلية عالية على الجريان ،بإمكانه الإنتشار بسهولة وملئ القالب دون الحاجة إلى أي أعمال رج ميكانيكية .بشكل عام فإن استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد يمكنه أن يخفض من زمن التشييد بالإضافة إلى تخفيض التلوث البيئي .

لقد قمنا في هذا البحث بدراسة كيفية إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد المحلية ،وإجراء التجارب المخبرية اللازمة وتصميم الخلطات باستخدام نسب مائية إسمنتية مختلفة ، كما تم تصميم خلطات أخرى من البيتون العادي ومقارنة النتائج التي حصلنا عليها لكلا النوعين من البيتون .

إن أعلى مقاومة تم التوصل إليها بلغت 77 Mpa وذلك باستخدام نسبة مائية إسمنتية $W/(C+S)=0.29$ ونسبة سيليكات فيوم 10% من مجموع المواد الإسمنتية الكلية.

كما تم حساب كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة ومقارنتها مع كلفة إنتاج البيتون العادي ،وذلك من أجل الخلطات الغير حاوية على السيليكات فيوم وكانت الكلفة متقاربة ، كما تم دراسة الجدوى التكنولوجية من إستخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد والمتمثلة بضخ البيتون وصبه في المكان والمعدات اللازمة لذلك وكيفية انعكاس هذا الإستخدام على ضغط البيتون على الكوفراج ومقارنة ذلك مع البيتون العادي.

Abstract:

Self Compacting Concrete (SCC) is a high flowable concrete, it can flow easily and fill the formwork without any need to mechanical compaction. In general, using SCC in construction can reduce construction times and environmental pollution.

In this study, we studied how we can produce Ultra Strength SCC by using local material, making laboratory tests with designing concrete mixtures by using different ratio of (w/C+S), making many mixtures of normal compacting concrete (NCC) and comparing the result of SCC with NCC.

The highest strength of SCC was 77 Mpa by using (W/C+S) = 0.29 and ratio 10% silica fume of the whole Cementous material.

We calculated the cost of producing ultra strength SCC (without silica fume) and comparing the result with NCC, the result of comparing was about equal each other.

A technology benefits of using SCC in construction, have studied by comparing pumping, casting concrete, equipment which it needs for and how can reflect this technology on formwork pressure.

المقدمة

إن البيتون هو العنصر الأساسي في عملية البناء، ونتيجة لتزايد المتطلبات التكنولوجية والمعمارية فقد تم انتاج أنواع أخرى من البيتون تؤمن الاحتياجات المطلوبة وتواكب التطور التكنولوجي والمعماري ومن أهمها البيتون ذاتي التوضع.

هذا وقد كثرت الدعوات لتحسين الإنتاجية وزيادة الأرباح واختصار الزمن اللازم لصناعة التشييد بالإضافة الى زيادة الطلب للاهتمام بيئة العمل وضمان سلامة وأمن العمال أثناء التنفيذ.

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد قد ازداد بصورة مطردة في السنين الأخيرة كبديل عن استخدام البيتون العادي وذلك لقابلية التشغيل العالية التي يتميز بها دون حدوث أي انفصال أو نرف وملئ الفراغات مهما كانت كثافة التسليح بالإضافة الى الميزات الأخرى التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي فهو يؤمن بيوتون ذو جودة عالية مع تخفيض في تكاليف التشييد المتعلقة بالعمالة اللازمة لصب البيتون ورج البيتون بالإضافة الى التخفيض من الآثار البيئية الناجمة عن عملية رج البيتون والتخفيض من الزمن اللازم لأعمال التشييد وغيرها. [15]

هدف البحث:

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

تتلخص أهداف هذا البحث بكيفية إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد المحلية بما يضمن تحقيق المواصفات المطلوبة، إضافة إلى دراسة جدوى استخدام هذا النوع من البيتون من الناحيتين التكنولوجية والإقتصادية أثناء أعمال التشييد كبديل عن البيتون العادي وذلك من خلال المقارنة ما بين هذين النوعين:

من النواحي التكنولوجية (ضخ البيتون - صب البيتون - أعمال الانتهاء ومايتخلله من تأثيرات على العمال والبيئة - ضغط البيتون على الكوفراج).

ومن الناحية الإقتصادية المتمثلة بتكاليف إنتاج هذين النوعين من البيتون.

الأبحاث والدراسات السابقة:

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 إلى 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.

- كما قامت بعض الجهات في لندن بنشر أبحاثها عن هذا البيتون مثل: الوحدة الدولية للإختبار والبحث المخبري للمواد والمنشآت
International RILEM

International of testing and research laboratories of materials and structures.

- 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 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 أن 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 الببتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد ونذكر من هؤلاء الباحثين:

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 سلط الضوء فيها على أهمية استخدام الببتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد، حيث قام بإجراء عمليات المقارنة ما بين الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع من حيث تأثير أعمال الصب على بيئة وسلامة العمال.

Peter Simonsson-Mats Emborg: قاموا بإجراء بحث بعنوان:

Industrialized construction benefits using scc in cast in situ construction.

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

كما وقاموا بنشر بنشر بحث آخر في مجلة ACI Materials بعنوان:

Self compacting concrete in bridges-performance for industrial site casting.

حيث قاموا بإجراء العديد من التجارب لإنتاج الببتون ذاتي التوضع وذلك لتحسين الإنتاجية وزيادة الأرباح.

الكلمات المفتاحية:

Self compacting concrete (SCC), Normal compacting concrete (NCC), Pumping, Casting, Formwork, Vibrating, Pressure, Construction.

الفصل الأول

مدخل إلى البيوتون ذاتي التوضع

الفصل الأول

مدخل إلى البيتون ذاتي التوضع

1-1-1 تعريف البيتون ذاتي التوضع:

1-1-1-1 حسب المعهد الأمريكي للبيتون (ACI):

هو ذلك البيتون الذي يتميز بقابليته العالية للجريان وعدم الانفصال وإمكانيته للانتشار وملئ القالب وإحاطته بالتسليح دون الحاجة إلى أي عملية رج ميكانيكية. [15]

1-1-2 حسب معهد البيتون مسبق الصنع - مسبق الاجهاد (PPCI):

بيتون عالي التشغيل يمكنه الجريان عبر التسليح الكثيف أو العناصر الإنشائية المعقدة تحت تأثير وزنه الذاتي حيث يملأ الفراغات دون فصل للحبات أو زحف كبير للبيتون وذلك دون الحاجة لأي عملية رج من أجل توضع البيتون. [15]

1-2 فوائد البيتون ذاتي التوضع:

إن البيتون ذاتي التوضع يحقق العديد من المزايا ومنها:

- 1- تحقيق جودة عالية مهما كانت درجة التعقيد في أشكال المنشأة.
- 2- تخفيض العمالة والمعدات والتوفير في تكاليفها:
 - لا حاجة لرج البيتون لتحقيق الإكتناز المطلوب.
 - أقل حاجة لعمليات إنهاء السطوح الخرسانية.
- 3- تسريع عملية التشييد من خلال معدلات الصب أو معدلات التوضع العالية للبيتون واختصار زمن الرج (زيادة الانتاجية وتخفيض زمن التشييد).
- 4- القدرة العالية لجريان البيتون تخفض من نقاط تمرکز المضخة وبالتالي تخفيض تحركات المضخة والجبالات الأمر الذي يؤدي إلى توفير الوقت والموارد.

5- تخفيض مستوى الضجيج في المشروع حيث لاجابة لاستخدام الرجاجات الأمر الذي يؤدي الى تخفيض التكاليف المتعلقة بالتأمين اللازمة لمعالجة السمع.

6- موقع العمل يصبح أقل ازدحاما الأمر الذي يخفض من المخاطر المحتملة أثناء التنفيذ.

7- الحصول على سطوح ذات جودة عالية دون ظهور حالات التعشيش وامكانية استخدامه للاغراض المعمارية والتزيينية. [26,6,8]

1-3 التطور التاريخي للبيتون ذاتي التوضع:

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد قد اكنسب إنتشارا واسعا في اليابان منذ أواخر الثمانينات وذلك بعد دراسات مطولة قام بها عدد من الباحثين عام 1986 أهمهم Okamura والذي الذي سلط الضوء على أهميته في التشييد والمراجع التالية تزودنا بأمثلة متنوعة عن الإستخدام المبكر للبيتون ذاتي التوضع في مشاريع الهندسة المدنية.

Tanaka et al (1993), Hayakawa et al (1993,1995), Miura et al (1994), Izumi et al (1995), Fukute et al (1995), Kilamura et al (1996), Ushi jima et al (1995)

ومنذ بداية تطور هذا البيتون فقد استخدم في دول عدة سواء أكان بيتون مصبوب في المكان أو بيتون مسبق الصنع.


هذا وقد استخدم البيتون ذاتي التوضع في أعمال الاصلاح وذلك في كندا وسويسرا متضمنا أعمال اصلاح وصيانة الجسور وكراجات السيارات والجدران الاستنادية وغيرها.

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع في أمريكا الشمالية قد ازداد بشكل واضح وخاصة صناعة البيتون مسبق الصنع منذ عام 2003. هذا وقد قدر حجم البيتون ذاتي التوضع مسبق الصنع في الولايات المتحدة عام 2000 ب 135000م3.

هذا وقد أصبح حوالي 40% من منتجي البيتون مسبق الصنع في الولايات المتحدة يستخدمون البيتون ذاتي التوضع.

ومن جهة أخرى فقد بلغت كمية البيتون ذاتي التوضع المصبوب في المكان في الولايات المتحدة عام 2000 100000م3.

هنا بعض الأمثلة لمشاريع حول العالم استخدم فيها البيتون ذاتي التوضع وذلك لأغراض شتى [1,16]

pedestrian overpass,seminole country,orlndo,fla	
<p>اقترح المقاول استخدام البيتون ذاتي التوضع (للملئ الأمتل وتوضع البيتون) من أجل المنشأة البيتونية المسلحة</p>	
<p>Mixture proportions: Cement:390 Kg/m³ GGBFS/Fly ash:77 Kg/m³ Coarse aggregate: (No.57):684 Kg/m³ (No.89):322 Kg/m³ Fine aggregate:758 Kg/m³ W/Cm:0.43 admixtures: HRWRA:9.8ml/Kg WRA:1 ml/Kg VMA:1.95 ml/Kg</p>	<p>Fresh concrete properties: slump Flow: 710 mm Compressive strength: 24 hours:12.4 Mpa 30 hours:17.2 Mpa 28 days:51.5 Mpa</p>
<p>Engineer/Architect/specifier:Harding ESE(a Mactec Company) Concrete producer:RMC Ewell Contractor:Martin K.Eby Construction Co.Inc.</p>	
<p>Technology Of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete By Using Local Material and Its Importance in Construction Industry ENG:Salahidin Al-Hariri</p>	

جدول(1-1)استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشروعات pedestrian

National Museum of the American Indian ,Washington ,D.C.

<p>السبب الرئيسي لاستخدام (SCC) هو كثافة التسليح والأشكال المعقدة للمنشأ الكمية الكلية للـ (SCC) أكثر من $m^3(23000)$</p>	
<p>Mixture proportions: Cement:230 Kg/m³ GGBFS:155 Kg/m³ Coarse aggregate: (No.67): W/Cm:0.47 admixtures: HRWRA:5.2ml/Kg</p>	<p>Fresh concrete properties: slump Flow: 610 mm Compressive strength: 28 days:41.4 Mpa</p>
<p>Owner:Smithsonian Institution Concrete producer:Aggregate Industries,Maryland General Contractor:Joint venture between Clark Construction Group and Table Mountain Rancheria Enterprise(TMR)of Frait ,Calif an American Indian firm.</p>	
<p>Technology Of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete By Using Local Material and Its Importance in Construction Industry ENG:Salahidin Al-Hariri</p>	

جدول (1-2) استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشروع National museum

**Double -Tee Production ,Nitterhouse Concrete Products
Inc,Chmbersburg,Pa**

السبب الرئيسي لاستخدام (SCC) هو
تخفيض التكاليف من خلال خفض
تكاليف العمال. بالإضافة إلى فوائد
أخرى تتمثل بالجودة وتخفيض
مستويات الضجيج



Mixture proportions:
Cement:385 Kg/m3
GGBFS:68 Kg/m3
Coarse aggregate:
(No.57):
W/Cm:0.40
admixtures:
HRWRA:5.9ml/Kg
Set accelerator:7.85 ml/Kg

Fresh concrete properties:
slump Flow:(560 ± 50) mm
Compressive strength:
13 hours:27.6 Mpa
28 days:>49.7 Mpa

Concrete producer:Nitterhouse Concrete Products Inc,Chambersburg,Pa

**Technology Of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete By Using Local Material
and Its Importance in Construction Industry
ENG:Salahidin Al-Hariri**

جدول (1-3) استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشاريع مسبقة الصنع

Burj Dubi

<p>تم صب البيتون ذاتي التوضع بعد دراسة متكاملة :</p> <p>C50 (50 Mpa)-Raft C60 (60 Mpa)- Pile C80(80Mpa) -Vertical Elements</p> <p>ملاحظة:المقاومة المعتمدة مكعبية فوق المستوي رقم 127 المقاومة 60 والقطر الأعظمي للحصويات 10 مم.</p>	
<p>Mixture proportions:</p> <p>C50: 40% Fly ash W/C:0.34</p> <p>C60: 25% Fly ash 7% silica Fume W/C:0.32</p> <p>C80: 13% Fly ash 10% Silica Fume Maximum aggregate Size:20mm(3/4 inch)</p>	<p>Fresh concrete properties:</p> <p>slump Flow: C60:(675±75)mm C80:600 mm</p> <p>Compressive strength:</p>
<p>Owner:Emaar properties PJSC Architect /Structural Engineers/MEP Engineers: Skidmore,Owings and Merrill LLP General Contractor:samsung/BeSix/Arabtec</p>	
<p>Technology Of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete By Using Local Material and Its Importance in Construction Industry ENG:Salahidin Al-Hariri</p>	

جدول(1-4) استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشروع برج دبي

1-4 خصائص البيتون ذاتي التوضع:

إن البيتون ذاتي التوضع هو بيتون ذو قابلية عالية للجريان -غير قابل للانفصال- يمكنه أن ينتشر في المكان ويملى القالب و أن يحيط بالتسليح دون الحاجة لعمليات الرج الميكانيكية، ومن هذا يتضح لنا أن البيتون ذاتي التوضع يجب ان يمتلك الخواص التالية: [15]

1-4-1 التشغيل:

تصف لنا هذه الخاصية سهولة خلط وتوضع وأعمال الانهاء لهذا النوع من البيتون وتتضمن هذه الخاصية مايلي: [15]

1) قابلية الملى:

2) قابلية المرور:

3) الثبات:

1-4-1-1 قابلية الملى:

وهي قدرة البيتون ذاتي التوضع على الجريان والملى الكامل لكل الفراغات في القالب تحت تأثير وزنه الذاتي.

من العوامل التي تؤثر على قابلية البيتون ذاتي التوضع لملى وتحدد الاشارة الى أن هنالك العديد
القالب .

درجة التسليح: إن درجة التسليح العالية تخفض من قابلية الملى.

شكل العنصر المصبوب: إن الشكل المعقد للعناصر المصبوبة يجعل عملية الملى أصعب.

سماكة الجدران: إن السماكة القليلة للجدران تجعل عملية الملى اصعب.

طول العنصر المصبوب: إن العناصر الطويلة تكون عملية الملى لها أصعب من تلك العناصر القصيرة.

تكنولوجيا الصب: إن الصب البطيء أو الصب غير المتواصل يخفض من الطاقة اللازمة للصب.

درجة الجريان: إن درجة الجريان العالية (قطر الانتشار) تعزز من قابلية الملى.

معدل اللزوجة: إن اللزوجة العالية للبيتون تخفض من قابلية البيتون على الملئ

يوضح الجدول رقم (5-1) أهم العوامل المؤثرة على قابلية الملئ.

المتغير	الشرح
درجة التسليح	كثافة التسليح تخفض من قابلية الجريان
شكل العنصر المصبوب	صعوبة ملئ العناصر معقدة الشكل
سماكة الجدار	عملية الملئ للعناصر الدقيقة تكون أصعب
تكنولوجيا الصب	الطاقة اللازمة للصب تنخفض في حالات الصب البطيء
طول العنصر المصبوب	عملية ملئ العناصر الطويلة تكون أصعب
متغيرات الخلطة	
درجة الجريان	الجريان الجيد يزيد من قابلية الملئ
درجة اللزوجة	اللزوجة العالية تخفض من قابلية الملئ

جدول رقم (5-1) العوامل المؤثرة على قابلية الملئ

1-4-1-2 قابلية المرور:

هي سهولة البيتون ذاتي التوضع على المرور عبر الفراغات الضيقة والمتعددة في القالب (بين قضبان التسليح) بدون حدوث انفصال أو بلوكينغ.

هذا وإن هنالك العديد من العوامل التي تؤثر على قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع:

درجة التسليح: إن درجة التسليح الكبيرة تجعل من مرور البيتون عملية صعبة وخاصة فيما يتعلق بالحصويات الأمر الذي قد يؤدي إلى حدوث ظاهرة التعشيش.

قياس القالب: إن المقاطع الضيقة للقوالب قد تسبب إعاقة مرور الحصويات وحدث الإنسداد.

درجة الجريان: إن درجة الجريان العالية تؤدي إلى سهولة مرور البيتون إلا أنه يخشى من حدوث ظاهرة الانفصال الحبيبي.

معدل اللزوجة: إن ازدياد معدل اللزوجة قد يؤدي إلى تخفيض قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع.

قياس الحصويات الخشنة: إن المقاس الكبير للحصويات يسبب الإنسداد وصعوبة المرور.

محتوى الحصويات الخشنة: إن المحتوى العالي من الحصويات الخشنة يسبب الإنسداد وصعوبة المرور.

ويوضح الجدول رقم (1-6) أهم العوامل المؤثرة على قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع. [15]

المتغير	الشرح
درجة التسليح	ان كثافة التسليح تؤدي إلى تجمع الحصىيات وحدوث التعشيش
ضيق الكوفراج	المقاطع الضيقة للكوفراج قد تؤدي إلى حدوث التعشيش
متغيرات الخلطة	
درجة التشغيل	درجة الجريان المنخفضة لاتسمح بالمرور الجيد للبيتون وعلى العكس بالنسبة للجريان الجيد
معدل اللزوجة	درجة اللزوجة تؤثر على درجة الجريان للبيتون
قياس الحصىيات	القياس الكبير للحصىيات يزيد من حدوث التعشيش
محتوى الحصىيات	إن المحتوى العالي للحصىيات الخشنة يزيد من حدوث التعشيش

جدول رقم(1-6)العوامل المؤثرة على قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع

1-4-1-3 ثبات البيتون:

ويصف قدرة المواد على الحفاظ على توزيعها وتجانسها خلال جريانها وتوضعها في القالب ،وهناك العديد من العوامل التي تؤثر على ثبات البيتون:

تقنية الصب: إن معدلات الصب العالية يمكن أن تؤدي إلى ظاهرة الانفصال الحبيبي.

درجة التسليح: إن صب البيتون بوجود حديد تسليح قد يؤدي إلى حدوث الانفصال.

ارتفاع العنصر المصبوب: إن صب العناصر ذات الارتفاع العالي قد يؤدي إلى ترسب الحصىيات في الأسفل والانفصال وحدوث النزف.

درجة التشغيل: بازدياد درجة تشغيل البيتون(قطر الانتشار) ينخفض ثبات البيتون.

معدل اللزوجة: كلما ازدادت لزوجة البيتون يزداد ثبات البيتون.

ويوضح الجدول رقم (1-7) أهم العوامل المؤثرة على ثبات البيتون. [15]

المتغير	الشرح
تكنولوجيا الصب	الطاقة العالية المصروفة على صب البيتون قد تؤدي الى انفصال المواد
درجة التسليح	الانفصال الحبيبي قد يظهر في حال الصب
ارتفاع العنصر	ارتفاع العنصر قد يؤدي الى انفصال الحصىات
متغيرات الخلطة	
درجة التشغيل	ينخفض ثبات البيتون بازدياد درجة التشغيل
معدل اللزوجة	بازدياد اللزوجة يزداد ثبات البيتون

جدول رقم (1-7) العوامل المؤثرة على ثبات البيتون ذاتي التوضع

هذا وتجدر الإشارة إلى أن هناك نوعين لثبات هذا البيتون:

الثبات الديناميكي:

يشير إلى مقاومة البيتون لفصل الحبيبات خلال توضع في القالب.

وهذه الخاصية مهمة عندما يكون هناك متطلبات مثل جريان البيتون عبر فراغات ضيقة كما هي مهمة عندما يتم نقل البيتون ذاتي التوضع بدون أي عملية تحريك في الجبال.

الثبات الستاتيكي:

ويشير إلى مقاومة البيتون للنزف والانفصال عند صب البيتون وهو لا يزال في الحالة اللدنة.

في بعض الحالات يتم استخدام معدلات اللزوجة أو محتوى عالي من البودرة لتحقيق الثبات المطلوب من البيتون ذاتي التوضع

1-4-2 متطلبات التشغيل للبيتون ذاتي التوضع:

قبل البدء بإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة لابد من معرفة درجة تشغيل البيتون المطلوبة فمتطلبات التشغيل للبيتون ذاتي التوضع تعتمد على عدة عوامل منها:

نوع المنشأة-معدات توضع البيتون(مضخة-من الجبال مباشرة)-طريقة توضع البيتون(عدد وأماكن نقاط التوزيع)-درجة تعقيد الكوفراج-تفاصيل التصميم الانشائي-تأثير درجة كثافة التسليح وغيرها.

هنالك مجموعة من المعايير التي يجب أخذها بالحسبان عند تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع للوصول إلى الخواص المطلوبة، ومن هذه المعايير:

الخواص الهندسية- تكنولوجيا الصب- خصائص العنصر المصبوب- خواص المواد الداخلة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع وغيرها.

هذا ويوضح الجدول رقم (8-1) متطلبات درجة التشغيل (قطر الانتشار) وذلك حسب خواص العنصر المصبوب (أبعاده- شكله- درجة التسليح.....) ومحتوى الحصىات بالإضافة إلى الطاقة المصروفة على عملية الصب. [15]

قطر الانتشار					
أكبر من 650مم	من 550 الى 650 مم	أقل من 550مم			
			منخفض	متوسط	درجة التسليح
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	شكل العنصر
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	عمق العنصر
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	أهمية انتهاء السطح
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	طول العنصر
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	سماكة الجدار
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	محتوى الحصىات الخشنة
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	
			منخفض	متوسط	الطاقة اللازمة للصب
			متوسط	عالي	
			عالي	منخفض	

جدول رقم (8-1) متطلبات درجة التشغيل

من هذا الجدول نلاحظ أنه كلما ازدادت درجة تعقيد وتسليح وأعمال الإنهاء المطلوبة للعنصر المصبوب ازدادت متطلبات التشغيل المطلوبة للبيتون (قطر الانتشار)

هذا وقد صنف الدليل الأوروبي للبيتون ذاتي التوضع هذا النوع من البيتون إلى عدد من الأصناف وذلك حسب الخواص والمتطلبات التي يحققها هذا البيتون. [26]

يوضح الجدول رقم (9-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب الخواص التي يتميز بها.

الخاصية	الاختصار	عدد الأصناف
الجريان	slump flow-(SF)	3
اللزوجة	viscosity-(VS or VF)	2
قابلية الجريان	passing ability (PA)	2
مقاومة الانفصال	segregation resistance (SR)	2

جدول رقم (9-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب خواصه

كما ويوضح الجدول رقم (10-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب قطر الانتشار ومجالات استخدامه. [15,26]

الصنف	قطر الانتشار (mm)	الإستخدام
SF1	550-650	منشآت البيتون ذات التسليح الخفيف أو غير المسلح-المقاطع الصغيرة كفاية بحيث تمنع الجريان الأفقي (الأوتاد وبعض الأساسات العميقة)
SF2	660-750	مناسبة للعديد من التطبيقات العادية (جدران-أعمدة)
SF3	760-850	تستخدم للعناصر الشاقولية ذات التسليح الكثيف أو الأشكال المعقدة

جدول رقم (10-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب قطر الانتشار

نلاحظ من الجدول (10-1) أنه كلما ازداد قطر انتشار البيتون ذاتي التوضع أمكننا استخدام هذا البيتون للعناصر ذات درجات التسليح الأثقل.

ويوضح الجدول رقم (11-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب خاصية اللزوجة. [15]

الصنف	الاستخدام
VS1/VF1	لها قدرة جيدة على الملئ في حالات التسليح الكثيف- تمكن من التسوية الذاتية للسطوح النهائية لكنها أكثر عرضة للزف والانفصال
VS2/VF2	يزداد زمن الانتشار وتحسن من مقاومة الانفصال لكنها قد تؤثر على التسوية النهائية للسطوح

جدول رقم (11-1) أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب اللزوجة

نلاحظ من هذا الجدول أن الصنف الثاني من البيتون ذاتي التوضع يزداد فيه زمن الإنتشار أي أن لزوجة البيتون قد ازدادت الأمر الذي يؤثر على عملية التسوية النهائية للسطوح على عكس الصنف الأول من البيتون ذاتي التوضع الذي يتميز بلزوجة أقل وقدرة أعلى على الملئ وأعمال التسوية الذاتية للسطوح النهائية.

يوضح الجدول رقم (1-12) مجالات استخدام الأصناف المختلفة من البيتون ذاتي التوضع حسب العنصر المصبوب. [26]

Viscosity				Segregation resistance/ passing ability
VS 2 VF 2	Ramps			Specify passing ability for SF1& 2
VS 1 or 2 VF 1 or 2 or a target value.	Walls and piles Tall and slender			Specify SR for SF 3
VS 1 VF 1	Floors and slabs			Specify SR for SF 2 & 3
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Slump-flow			

جدول رقم (1-12) مجالات استخدام الأصناف المختلفة للبيتون ذاتي التوضع

نلاحظ من هذا الجدول أنه لصب البلاطات والسطوح المستوية فيمكننا استخدام أي صنف من أصناف البيتون ذاتي التوضع حسب قطر الانتشار وبالتالي فإنه يمكننا استخدام الصنف الأول حسب اللزوجة في حين يجب الإنتباه إلى الخاصية الثالثة وهي الانفصال الحبيبي فكلما كان قطر الانتشار أعلى كانت لزوجة البيتون ذاتي التوضع أقل وبالتالي ازدادت احتمالات حدوث ظاهرة الانفصال.

1-4-3 ضبط جودة البيتون ذاتي التوضع الطازج:

إن مسألة ضبط جودة البيتون ذاتي التوضع هي مسألة حساسة للغاية. فكما ذكرنا فإن هذا النوع من البيتون يجب أن يحقق مجموعة من الخواص فلذلك يجب إجراء مجموعة من التجارب المخبرية للتحقق فيما إذا كان هذا البيتون يحقق الخواص المطلوبة أم لا.

1-4-3-1 اختبارات التشغيل:

في الحقيقة لا توجد طريقة واحدة لقياس متطلبات التشغيل للبيتون ذاتي التوضع. فحتى هذه اللحظة لا يوجد أي برنامج تطبيقي من قبل ACI من أجل اختبارات البيتون ذاتي التوضع

في الجدول رقم (1-13) مجموعة من طرق الإختبار المتبعة لقياس خصائص الببتون ذاتي التوضع والتي قد طورت من قبل مجموعة من الوكالات والباحثين في هذا المجال. [26]

Test Method	Property Measured
Slump Flow	Filling ability
T50 Slump Flow	Filling ability
J-Ring	Passing ability
V-Funnel	Filling ability
V-Funnel at T5 Minutes	Segregation resistance
L-Box	Passing ability
U-Box	Passing ability
Fill-Box	Passing ability
GTM screen stability test	Segregation resistance
Orimet	Filling ability

جدول رقم (1-13) اختبارات الببتون ذاتي التوضع

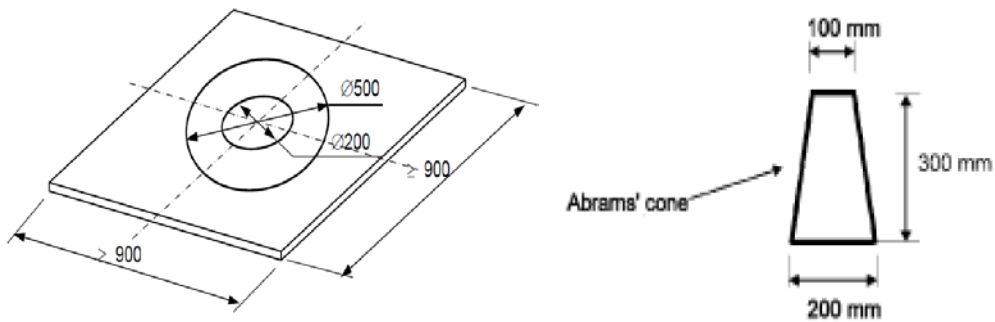
إن تقرير المعهد الامريكى للبيتون ACI237 يشير إلى أنه عند انتاج الببتون ذاتي التوضع فإنه يجب

على الأقل اختبار قطر الانتشار بالإضافة إلى مؤشر الثبات المرئي VSI .

سيتم شرح طريقة واحدة لاختبار كل خاصية للبيتون ذاتي التوضع. [15,26,6,7]

1-1-3-4-1 اختبار قطر الانتشار وزمن T500:

في هذا الإختبار يتم تحديد جريان وثبات ومدى لزوجة الببتون ذاتي التوضع. المعدات اللازمة لهذا الاختبار عبارة عن مخروط ابرامس وصفيحة معدنية 900*900 مم محدد عليها دائرة مركزية قطرها 500 مم كما هو موضح في الشكل رقم (1-1).



شكل رقم (1-1) مخروط أبرامز

يتم ملئ المخروط بالبيتون دون أي عملية دمك على خلاف البيتون العادي ومن ثم يتم إزالة المخروط (سحبه) شاقوليا.

يتم تسجيل قيمة الزمن اللازم لوصول البيتون إلى القطر 500 مم ويسمى T500

عندما يتوقف البيتون عن الجريان يتم قياس قطر الإنتشار باتجاهين متعامدين، ويتم تسجيل القيمة الوسطية لقطر الانتشار D_m

$$D_m = (D_1 + D_2) / 2 \dots \dots \dots (1-1)$$

D_m : قطر الإنتشار الوسطي (متر)

D_1 : قطر الإنتشار في الإتجاه الأول (متر)

D_2 : قطر الإنتشار في الإتجاه المتعامد مع الإتجاه الأول (متر)

وتوضح الصورة رقم (1-1) قياس قطر الإنتشار للبيتون ذاتي التوضع.



الصورة رقم (1-1) كيفية قياس قطر الانتشار

2-1-3-4-1 مؤشر الثبات المرئي VSI

إن ثبات البيتون ذاتي التوضع يمكن أن يلاحظ من خلال المراقبة بالعين المجردة أثناء القيام بتجربة الإنتشار وذلك من خلال ظهور هالة من الملاط حول الكتلة البيتونية أو تجمع للحصويات في مركز الكتلة البيتونية وحدث ظاهرة الانفصال. [15]

هذا وأنه يمكن التعبير عن مدى ثبات البيتون برقم يسمى رقم مؤشر الثبات المرئي والذي يأخذ القيمة 0-1-2-3. فكلما اقترب رقم المؤشر إلى 0 دل ذلك على ازدياد ثبات البيتون. وكلما اقترب نحو 3 يشير إلى إمكانية انفصال الحبيبات. والجدول التالي يبين قيمة مؤشر الثبات المرئي والمعياري المشاهد:

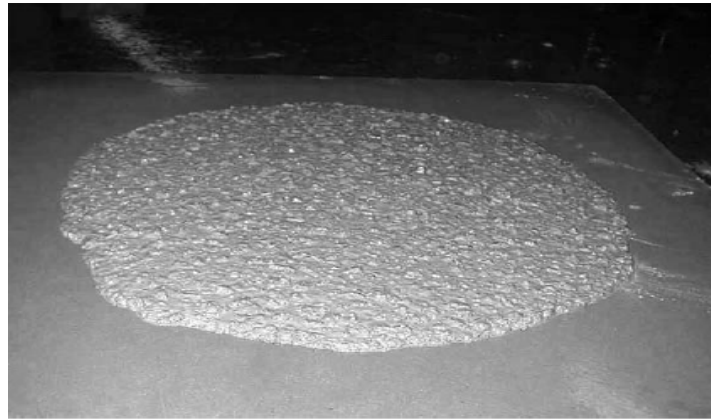
قيمة مؤشر الثبات	المعيار
0: عالي الثبات	لا يلاحظ حدوث أي انفصال أو نزف
1: ثابت	لا يلاحظ حدوث أي انفصال إلا أنه قد يظهر نزف خفيف
2: قليل الثبات	ظهور هالة من الملاط أقل من 10 مم أو تجمع للحصويات على شكل كومة
3: منخفض الثبات جدا	حدوث الانفصال الحبيبي وظهور هالة من الملاط تتجاوز 10 مم وتجمع للحصويات على شكل كومة في مركز الكتلة البيتونية

الجدول رقم (1-14) مؤشر الثبات المرئي للبيتون ذاتي التوضع

تصنيف البيتون ذاتي التوضع حسب مؤشر الثبات المرئي: [15]

البيتون عالي الثبات ($VSI=0$):

لا يلاحظ حدوث الانفصال أو ظهور النزف، الصورة رقم (1-2)



الصورة رقم (1-2) بيتون ذاتي التوضع عالي الثبات $VSI=0$

البيتون الثابت ($VSI=1$):

لا يلاحظ حدوث الانفصال إلا أنه قد يظهر نزف خفيف، الصورة رقم (1-3)



الصورة رقم (1-3) بيتون ذاتي التوضع ثابت $VSI=1$

البيتون قليل الثبات ($VSI=2$):

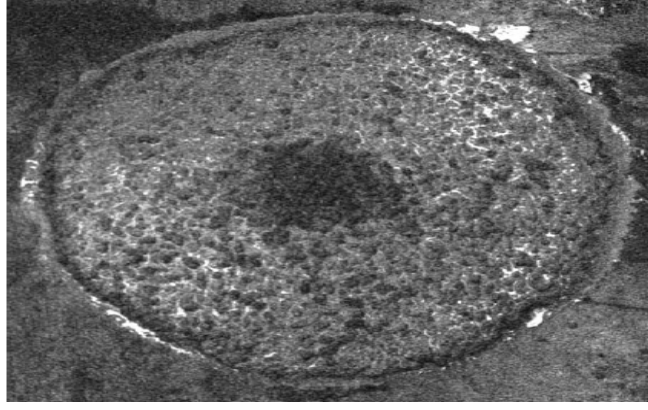
ظهور هالة من الملاط أقل من 10 مم أو تجمع للحصويات على شكل كومة، الصورة رقم (1-4)



الصورة رقم (1-4) بيتون ذاتي التوضع قليل الثبات $VSI=2$

البيتون منخفض الثبات جدا ($VSI=3$):

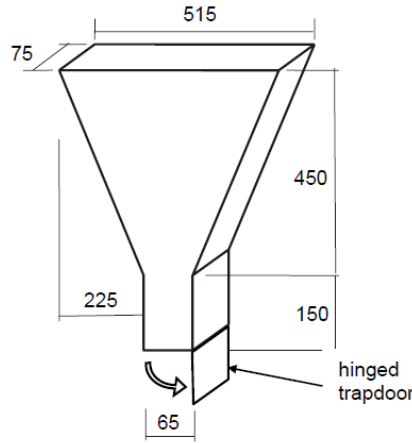
حدوث الانفصال الحبيبي وظهور هالة من الملاط تتجاوز 10 مم وتجمع للحصويات على شكل كومة في مركز الكتلة البيتونية، الصورة رقم (1-5).



الصورة رقم (1-5) بيتون ذاتي التوضع منخفض الثبات VSI=3

3-1-3-4-1: V-Funnel

يتم إجراء هذا الإختبار لتحديد جريان وثبات البيتون ذاتي التوضع في هذه التجربة يتم استخدام جهاز بشكل حرف V كما يوضح الشكل رقم (1-2).

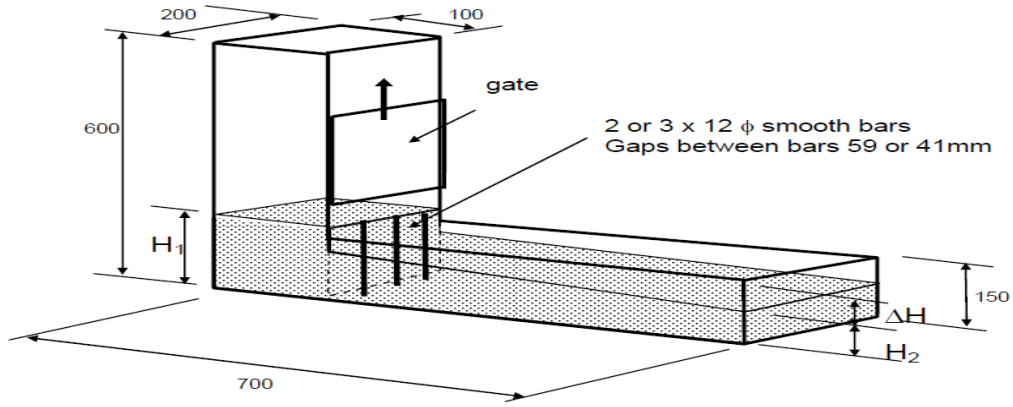


الشكل رقم (1-2) جهاز V-Funnel

4-1-3-4-1: L-Box

الهدف من هذا الإختبار هو التحقق من جريان البيتون ضمن شبكة التسليح بشكل جيد بحيث يضمن التوضع الذاتي للبيتون تحت تأثير وزنه الذاتي وبدون إستخدام الرجاج.

في هذه التجربة يستخدم جهاز بأبعاد محددة على شكل حرف L يوضح الشكل رقم (1-3) مع كامل أبعاده



الشكل رقم (1-3) جهاز L-Box

يتم ملئ الجهاز بالبيتون والبوابة مغلقة وبعد استقرار البيتون يتم فتح البوابة حيث يتحرر البيتون ويبدأ بالسيلان.

عند توقف البيتون عن الجريان يتم قياس ارتفاع البيتون في بداية العتبة H1 .

يتم قياس ارتفاع البيتون في نهاية العتبة H2 .

يتم حساب نسبة الإرتفاعين إلى بعضهما لتكون ممثلة لقابلية البيتون على المرور

$$PA = H2/H1\% \dots\dots\dots (1-2)$$

والصورة رقم (1-6) تظهر الجهاز أثناء إجراء التجربة.



الصورة رقم (1-6) تجربة قابلية المرور

1-4-3-1-5 اختبار الاستقرار في المنخل:

بعد التحقق من نتائج الإختبارات السابقة نلجأ إلى إجراء إختبار الإستقرار في المنخل وهو يهدف إلى التحقق من عدم حدوث ظاهرة إنفصال الحصىيات.

نظرا لميوعة البيتون فإنه يخشى من حدوث مايسمى بمحادثة إنفصال الحصىيات حيث تكون أوزان الحصىيات المستخدمة أكبر من قوى الترابط فيما بينها والتي يمنحها الملاط الإسمنتي لذلك تمهبط نحو أسفل القالب تحت تأثير وزنها الذاتي بينما يتجمع الملاط الإسمنتي فوقها وتشكل الطبقتان في هذه الحالة مزيجا غير متجانس ولا متماسك مما يؤثر سلبا على مواصفات البيتون الطازج والمتصلب.

في هذه التجربة يتم وضع وزن محدد (4.8 ± 0.2) كغ على المنخل ذي الفتحة 5 مم ويترك لمدة (120 ± 5) ثانية. ثم يتم وزن الملاط المار بفعل وزنه الذاتي من المنخل.

نحسب النسبة بين الوزن المار من المنخل والوزن الكلي للبيتون لنحصل على قيمة الإستقرار في المنخل.

$$SR = (W_p * 100) / W_c \% \dots (1-3)$$

حيث: W_p وزن البيتون المار من المنخل.

W_c وزن البيتون الكلي. [15,26]

الفصل الثاني

إنتاج البيبتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

الفصل الثاني

إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

إن الخواص التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع والتي تتمثل بالدرجة العالية للتشغيل (قابلية الملء-قابلية المرور-الثبات (مقاومة الانفصال)) والتوضع الذاتي لهذا البيتون يمكن أن تتحقق من خلال الإختيار الصحيح والدقيق للمواد الداخلة في تركيبه وتحديد النسب المثلى لها آخذين بعين الإعتبار تقنيات توضع هذا البيتون، فالبيتون ذاتي التوضع المستخدم في الأساسات ذات التسليح الخفيف يمكن أن تحوي على نسبة أعلى من الحصويات الخشنة وأن يكون متطلبات قطر الانتشار أقل مما هو مطلوب في الأعمدة ذات التسليح الكثيف، كما أن الأعمدة ذات التسليح الكثيف تتطلب قدرة عالية على المرور والجريان حول حديد التسليح.

إن نسب المواد الداخلة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة من حصويات وإسمنت ومواد أخرى يجب أن تكون مدروسة بشكل جيد للحصول على البيتون ذو الجودة المطلوبة. هذا ويجب الإختيار الجيد للمواد بحيث تكون مطابقة للمواصفات للوصول إلى الخصائص المطلوبة بالإضافة إلى المقومات العالية. [15,1,26]

2-1 المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة:

يدخل في تركيب البيتون ذاتي التوضع مواد متنوعة كالحصويات والمواد الرابطة والماء والإضافات الكيميائية المختلفة كالملدنات ومعدلات اللزوجة وغيرها.

2-1-1 الحصويات الخشنة (البحص):

وهي الحصويات المحجوزة على المهزة 4.75 مم (No.4) (ASTM C125) ولهذه الحصويات التأثير الكبير على خصائص البيتون ذاتي التوضع كقابلية الجريان والإنفصال بالإضافة إلى مقاومة البيتون وغيرها. [23]

2-1-1-1 الخواص الفيزيائية للحصويات الخشنة:

يجب أن يتم اختيار الحصويات بشكل دقيق لأن اختيارها بشكل عشوائي قد يؤدي إلى أن تكون الحصويات هي نقطة الضعف التي يبدأ فيها انكسار البيتون عند تعرضه للإجهادات .

إن للخواص الفيزيائية(الشكل –السطح مسامية الحصويات وغيرها) الأثر الكبير على خواص البيتون بشكل عام والبيتون ذاتي التوضع بشكل خاص

فالحصويات المستديرة أفضل من الحصويات الإبرية من حيث قابلية الجريان واحتياجها للماء من أجل نفس قابلية التشغيل.هذا وأن المسامية العالية للحصويات تخفض المقاومة كما تخفض من مقاومة التجمد والذوبان.

هذا وقد صنف المعهد الأمريكي للبيتون (ACI) البحص المستخدم للبيتون ذاتي التوضع الى صنفين:

الصنف الأول:القياس الأعظمي الإسمي للحصويات (12.5مم)وما فوق.

الصنف الثاني:القياس الأعظمي الإسمي أقل من (12.5مم).

هذا ويجدر بالذكر أن المواصفات الأمريكية لإختبار المواد قد حددت بعض المتطلبات الفيزيائية للحصويات مثل المواصفة(ASTM C33) [15].

2-1-1-2 التدرج الحبي:

إن للتدرج الحبي الأثر الكبير على خواص الجريان ومقاومة الإنفصال للبيتون ذاتي التوضع،فالتدرج الجيد يعزز قابلية التشغيل ومقاومة الإنفصال بالإضافة إلى إمكانية زيادة محتوى الخلطة من الحصويات.

هذا وإن المواصفة (ASTM C33) قد حددت التدرج الحبي للحصويات المستخدمة في البيتون،جدول رقم(1-2).

2-1-2 الحصويات الناعمة:

وهي الحصويات المارة من المنخل ذي الفتحة 4.75 مم (No.4) والمحجوزة على المنخل 75 ميكرون (No.200) وذلك كما تشير المواصفة (ASTM C125) .

هذا وأن الرمل هو الأكثر استخداماً في الحصىيات الناعمة ويحتل الحجم الأكبر في البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي. وكما هو الحال في الحصىيات الخشنة فإن جودة الحصىيات الناعمة تزيد من قابلية جريان البيتون ومنع الانفصال عند استخدامها بالكميات المناسبة. [15,23]

1-2-1-2 الخواص الفيزيائية للحصىيات الناعمة:

إن للخواص الفيزيائية للحصىيات الناعمة أثرها على مواصفات البيتون فشكل الحزيمات والسطح النوعي وغيرها من الخواص تؤثر على متطلبات ماء الخلط ومقاومة البيتون.

هذا وأن المواصفة (ASTM C33) تحوي على بعض المتطلبات لاختيار الحصىيات الناعمة. [23]

1-2-2-1-2 التدرج الحبي:

إن التدرج الحبي الجيد يخفض من محتوى الملاط كما أنه يزيد من قابلية الموتر للجران ويعزز من درجة ارتصاص البيتون الأمر الذي ينعكس على مقاومة ومتانة البيتون.

نحصل على التدرج الحبي من خلال التحليل المنخلي والذي يعطينا بالإضافة إلى التدرج الحبي قيمة معامل النعومة والذي يتراوح بين 2.5-3.2 والمنصوح به للبيتون عالي المقاومة والجدول التالي يوضح المجالات النظامية للتدرج الحبي للحصىيات، جدول رقم (2-2). [23]

TABLE 2 Grading Requirements for Coarse Aggregate

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 5/8 in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 6)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	50 to 37.5 mm (2 1/4 to 1 1/2 in.)	100	90 to 100	..	25 to 60	..	0 to 15	..	0 to 5	..	..	..	..	..	..
2	63 to 37.5 mm (2 1/2 to 1 1/2 in.)	..	..	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	..	0 to 5	..	..	..	..	..	..
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	..	..	..	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	..	0 to 5	..	..	..	..	..
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	..	..	..	100	95 to 100	..	35 to 70	..	10 to 30	..	0 to 5	..	..	..
4	37.5 to 19.0 mm (1 1/2 to 3/4 in.)	..	..	..	..	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	..	0 to 5	..	..	..	..
467	37.5 to 4.75 mm (1 1/2 in. to No. 4)	..	..	..	..	100	95 to 100	..	25 to 70	..	10 to 30	0 to 5	..	..	..
5	25.0 to 12.5 mm (1 to 1/2 in.)	..	..	..	..	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	..	0 to 5	..	..	..	..
56	25.0 to 9.5 mm (1 to 3/8 in.)	..	..	..	..	100	90 to 100	40 to 65	10 to 40	0 to 15	0 to 5	..	..	..	..
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	..	..	..	..	100	95 to 100	..	25 to 60	..	0 to 10	0 to 5	..	..	..
6	19.0 to 9.5 mm (3/4 to 3/8 in.)	..	..	..	..	100	90 to 100	90 to 100	30 to 55	0 to 15	0 to 5	..	..	..	..
67	19.0 to 4.75 mm (3/4 in. to No. 4)	..	..	..	..	100	90 to 100	90 to 100	30 to 55	..	20 to 55	0 to 10	0 to 5	..	..
7	12.5 to 4.75 mm (1/2 in. to No. 4)	..	..	..	..	100	90 to 100	40 to 70	80 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	..	..	..
8	9.5 to 2.36 mm (3/8 in. to No. 6)	..	..	..	..	100	85 to 100	100	85 to 100	100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	..	..
69	9.5 to 1.18 mm (3/8 in. to No. 16)	..	..	..	..	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5	..	..	0 to 5	..
9 ^a	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	..	..	..	..	100	65 to 100	10 to 40	0 to 5	..	..	..	..	0 to 5	..

^a Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 69, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

جدول رقم (2-1) المجالات النظامية للحصويات الخشنة

قياس المنخل	نسبة المار
9.5م	100
4.75م	95-100
2.36م	80- 100
1.18م	50-85
0.6م	25- 60
0.3م	5—30
0.15م	0- 10

جدول رقم (2-2)المجال النظامي للرمل

2-1-3 الإسمنت البورتلاندي:

إن جميع أنواع الإسمنت البورتلاندي يمكن استخدامها لإنتاج البيتون ذاتي التوضع بحيث تحقق إحدى المواصفات التالية (ASTMC150, C595, C1157) .

يمكن استخدام الإسمنت البورتلاندي لوحده أو بالتركيب مع مواد إسمنتية أخرى (SCM) لإنتاج البيتون ذاتي التوضع. [26]

2-1-4 المواد الإسمنتية الثانوية (SCM):

يمكن تصنيف المواد الإسمنتية الثانوية إلى:

مواد خاملة: كالمواد المألثة المعدنية (الحجر الكلسي-الدلوميت) والأصبغة.

مواد إسمنتية ثانوية بوزولانية أو هيدروليكية:

فالمواد البوزولانية تتضمن الرماد المتطاير والسيليكا فيوم، أما المواد الهيدروليكية فتتضمن خبث الحديد.

والجدول التالي يوضح أصناف المواد الإسمنتية الثانوية، جدول رقم (2-3)

TYPE I	Inert or semi-inert	<ul style="list-style-type: none"> Mineral filler (limestone, dolomite etc) Pigments
TYPE II	Pozzolanic	<ul style="list-style-type: none"> Fly ash conforming to EN 450 Silica fume conforming to EN 13263
	Hydraulic	<ul style="list-style-type: none"> Ground granulated blast furnace slag (If not combined in an EN 197-1 cement, national standards may apply until the new EN 15167 standard is published)

جدول رقم (2-3)أصناف المواد الإسمنتية الثانوية

إن استخدام مثل هذه المواد يحسن من خواص الببتون ذاتي التوضع حيث يؤدي إلى زيادة ثبات واستقرار هذا الببتون بالإضافة إلى قابلية الملئ.

هذا وأن استبدال جزء من الإسمنت البورتلاندي بأحد هذه المواد قد يؤدي إلى فوائد أخرى حسب متطلبات المشروع (كحرارة الإماهة) وغيرها. [26]

1-4-1-2 السيليكا فيوم (Silica fume):

عبارة عن مواد بوزولانية تزيد من ثبات الببتون فهي تخفض من حركة الماء خلال مصفوفة الببتون كما تخفض من ظاهرة النزف فكلما زادت كمية السيليكا إلى حد معين فإن خواص الببتون ذاتي التوضع تتحسن أكثر وأكثر. [15,26]

2-4-1-2 الرماد المتطاير (Fly ash):

هي عبارة عن مواد بوزولانية تحسن من مواصفات الببتون ذاتي التوضع المتعلقة بالتشغيل والجريان عند استخدامها.

هذا وأن نسبة استبدالها عوضاً عن الإسمنت تتراوح بين 20-40% من الإسمنت البورتلاندي. [15,26,6]

3-4-1-2 خبث الحديد (GGBFS):

هي عبارة عن مادة رابطة هيدروليكية عند استخدامها في الببتون ذاتي التوضع فإنها تحسن من خواص الببتون. هذا وأنه عند تفاعل خبث الحديد فإن درجة حرارته تكون منخفضة. [26]

إن خبث الحديد يجب أن يطابق المواصفة (ASTM C989).

4-4-1-2 الزيوليت (Zeolite):

الزيوليت عبارة عن مادة بوزولانية جيدة وهي ذات سلوك أفضل من البوزلان نفسه وفق وجهات نظر عدة، يمكن أن يتواجد على شكل بلورات صافية في فجوات وتصدمات الصخور البركانية أو على شكل كتل بلورية دقيقة ذات منشأ رسوبي، على شكل سيليكات الألمنيوم.

إن استبدال الإسمنت البورتلاندي بالزيوليت يخفض قابلية الببتون للتشغيل ويزيد تطلب الماء إلا أن تصنيع الأسمنت المخلوط مع الزيوليت يسمح بتوفير في الوقود بنسبة أعلى من 40%.

2-1-5 الخلائط (Admixtures) :

هي عبارة عن مواد تضاف إلى الببتون لتمنحه بعض الخصائص المرغوبة ومنها:

مخفضات الماء عالية الأداء (HRWRA or Superplasticizer) :

لمخفضات الماء عالية الاداء او كما تسمى بالملدنات أربع أصناف رئيسية هي:

1- ملدنات الميلايين:

2- ملدنات النفتالين:

3- ملدنات اللينوسيلفونات:

4- ملدنات كربوكسيلية:

ويجدر بالذكر أن الملدنات البولي كربوكسيلية هي الأكثر فاعلية لإنتاج الببتون ذاتي التوضع .

إن هذه الملدنات تؤدي إلى زيادة المقاومة وذلك من خلال إما تخفيض كمية الماء في الخلطة وذلك من أجل قابلية تشغيل معينة أو من خلال تخفيض كمية الإسمنت والماء في الخلطة من أجل مقاومة وقابلية تشغيل محددة.

هذا والجدير بالذكر أن هناك أنواع أخرى من الخلائط التي تستخدم لإنتاج الببتون ذاتي التوضع ومنها معدلات اللزوجة (VMA) والتي تستخدم لتحسين ثبات الببتون ذاتي التوضع حيث تضاف إلى الخلطة لمنع حدوث انفصال الحبيبات وزيادة لزوجة الخلطة ،هذا ويمكن أن تكون معدلات اللزوجة موجودة ضمن الملدن نفسه أو أن تتم إضافتها بشكل مستقل، كما توجد مولدات الهواء وغيرها من الخلائط. [6,26,15]

2-1-6 الماء:

بشكل عام فإن الماء المستعمل في الببتون هو الماء النظيف الصالح للشرب الخالي من المواد الضارة كالزيت والحموض وغيرها من المواد التي تؤثر على حديد التسليح.

كما يمكن استخدام الماء الذي لارتفاع نسبة الكلوريدات عن 0.5 غ/ل والكبريتات عن 0.3 غ/ل والأملاح الكلية عن 2 غ/ل.

2-2 خطوات تصميم الخلطة:

يتم تحديد تركيب الخلطة بحيث يحقق البيتون الخصائص المطلوبة سواء في الحالة الطازجة أو الحالة المتصلبة.

لوصول إلى الخلطة المثالية التي تحقق المعايير والخصائص المطلوبة يجب الأخذ بعين الاعتبار مايلي:

- 1- جريان ولزوجة الملاط وذلك من خلال الإختيار الأمثلي لمحتوى الإسمنت والإضافات في الخلطة.
 - 2- درجة حرارة وتقلص وتشققات البيتون بالإضافة إلى المقاومة من خلال محتوى النواعم من البودرة في الخلطة .
 - 3- إن الملاط هو المحرك الأساسي للحصويات فهو الذي يحمل الحصويات لذلك فإن حجم هذا الملاط يجب أن يكون أكبر من الفراغات في الحصويات الأمر الذي يؤدي إلى تغليف كامل للحصويات بطبقة من الملاط الامر الذي ينعكس على زيادة جريان البيتون ذاتي التوضع.
 - 4- إن نسبة الحصويات الخشنة إلى الحصويات الناعمة في الخلطة له الأثر الكبير وخاصة عند الحاجة إلى مرور البيتون عبر الفراغات الضيقة بين حديد التسليح.
- لا يوجد أي كود لتصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع إلا أن هناك العديد من المعاهد الأكاديمية والشركات الخاصة المتعلقة بالبيتون الجاهز وشركات الخلاط بالإضافة إلى شركات المقاولات قد طورت عدة طرائق لتحديد النسب المثلى من المواد لإنتاج البيتون ذاتي التوضع.

ومن هؤلاء نذكر (Okamura, Ozawa, Ouchi, Nawa, Domone, Billberg)

وغيرهم من الباحثين.

ويمكن تلخيص الخطوات اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع كما ورد في تقرير المعهد كمايلي:
الأمريكي للبيتون (ACI 237)

1- تحديد متطلبات قطر الإنتشار الجدول (1-8).

2- تحديد الحصويات الخشنة ونسبها (ACI 211.1) .

3- تحديد المحتوى من المواد الإسمنتية والماء.

- 4- حساب حجم الملاط والمورتر.
- 5- اختيار الخلائط اللازمة.
- 6- إجراء خلطة تجريبية.
- 7- إجراء الإختبارات اللازمة للتأكد من خصائص التشغيل للبيتون ذاتي التوضع (الثبات-قابلية الملئ-قابلية المرور).
- 8- الوصول إلى الخلطة التي تحقق الخصائص المطلوبة. [15]

2-2-1 محتوى الحصويات الخشنة:

إن قدرة البيتون ذاتي التوضع على الجريان عبر الفراغات الموجودة بين قضبان حديد التسليح تتعلق بالقياس الإسمي الأعظمي للحصويات الخشنة بالإضافة إلى حجم الحصويات الخشنة في الخلطة البيتونية (المحتوى) .

إن الهدف هو استخدام الحجم الأعظمي والقياس الأعظمي الممكن للحصويات الخشنة والتي تحقق خصائص التشغيل للبيتون ذاتي التوضع.

العوامل التي تؤثر على قياس وكمية الحصويات في الخلطة:

- 1- التباعد بين قضبان حديد التسليح.
 - 2- شكل و سطح الحصويات-الحصويات الطبيعية بحواف مستديرة -إبرية الحبيبات وغيرها من الخصائص الفيزيائية للحصويات.
 - 3- التدرج الحبي للحصويات الخشنة.
- هذا ويمكن الإنطلاق في تصميم الخلطة من نقطة بداية بحيث يكون حجم الحصويات الخشنة من 28-32% من الحجم الكلي المطلق للخلطة، جدول رقم (5-2)
- هذا وتجدر الإشارة إلى أنه للوصول للبيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي يجب تخفيض كمية الحصويات بالمقارنة مع البيتون العادي. [15]

2-2-2 محتوى البودرة والماء:

تتضمن البودرة: الإسمنت - الرمال المتطاير - خبث الحديد - السيليكا فيوم - نواعم الحجر الكلسي أو غيرها من المواد المطحونة التي أقل من 0.125 مم (No.100 sieve).

إن المحتوى المناسب من البودرة في الخلطة يتراوح بين 386-475 كغ/م³ وعند إجراء الخلطات التجريبية يمكن زيادة المحتوى ومن ثم دراسة التأثير الاقتصادي.

للوصول إلى قطر انتشار عالي للبيتون وعدم حدوث الانفصال من الضروري زيادة محتوى الملاط وذلك بزيادة محتوى الماء أو البودرة أو كلاهما.

إن نسبة الاسمنت إلى الماء في الخلطة قد يبقى ثابتا (W/P) ولكن حجم الماء إلى الإسمنت قد يزداد.

بشكل عام فإنه كلما ازداد قطر الانتشار المطلوب فإن محتوى الخلطة من البودرة يزداد للوصول إلى الثبات وقابلية التشغيل المطلوبين.

هذا ويوضح الجدول رقم (4-2) المحتوى من البودرة في الخلطة للوصول إلى البيتون ذاتي التوضع حسب تقرير المعهد الأمريكي للبيتون ذاتي التوضع: [15]

قابلية الجريان أقل من 550مم	قابلية الجريان 550-600مم	قابلية الجريان أكبر من 650 مم	
355-385	385-445	أكثر من 458	محتوى البودرة (كغ/م ³)

جدول رقم (4-2) محتوى البودرة للبيتون ذاتي التوضع حسب الكود الأمريكي

2-2-3 حجم الملاط والمورتر:

حجم الملاط: هو حجم المواد الإسمنتية بالإضافة إلى البودرة - الماء - الخلائط الكيميائية والهواء.

حجم المورتر: هو حجم الملاط بالإضافة إلى حجم الحصى الناعمة.

بشكل عام فإن نسب أحجام الملاط والمورتر في البيتون ذاتي التوضع تكون أكبر من البيتون العادي.

فالبيتون ذاتي التوضع يكتسب خصائصه من قدرة الملاط على السيالان وقدرة المورتر على حمل الحصى الخشنة والتي تؤمن بدورها قابلية الملىء والمرور والثبات للبيتون.

زيادة حجم المورتر والملاط في الخلطة فإن قطر الإنتشار يتأثر بشكل فعال.

ويوضح الجدول رقم(5-2) نسب المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع حسب المعهد الأمريكي للبيتون. [15]

28-32 %	الحجم المطلق للحصويات الخشنة
34-40%	حجم الملاط
68-72%	حجم المورتر
0.32-0.45	النسبة المئوية الاسمنتية w/cm
كغ/3م 386-475	المحتوى الكلي للمواد الإسمنتية

جدول رقم(5-2) نسب المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع حسب الكود الأمريكي

هذا وأن الدليل الأوروبي للبيتون ذاتي التوضع قد نصح بالمجالات التالية لنسب المواد لإنتاج البيتون ذاتي التوضع مع العلم أن هذه المجالات غير مقيدة فقد تفشل الخلطات من تأمين خصائص البيتون ذاتي التوضع خارج هذه المجالات والجدول رقم (6-2) يوضح هذه المجالات. [26]

لتر/3م	كغ/3م	المكونات
	380-600	البودرة
300-380		الملاط
150-210	150-210	الماء
270-360	750-1000	الحصويات الخشنة
	من وزن الحصويات الكلي %48-55	الحصويات الناعمة(الرمل)
0.85-1.1		النسبة المئوية الإسمنتية(حجما)

جدول رقم(6-2) نسب المواد حسب الدليل الأوروبي

الفصل الثالث

العمل المخبري لإنتاج البيبتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

الفصل الثالث

العمل المخبري لإنتاج الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

للوصول إلى إنتاج الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة لابد من الحصول على الخواص والمواصفات الأساسية للمواد الداخلة في هذا الببتون ومن ثم إجراء خلطات تجريبية للوصول إلى الهدف المنشود.

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

في هذه الفقرة سنتناول أهم الخواص للمواد التي تم استخدامها للوصول إلى إنتاج الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة والتي تم الحصول عليها من خلال تجارب مخبرية أجريتها في مخبر الببتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق أو من خلال النشرات الفنية التي زودتنا بها بعض الشركات لمنتجاتها في الجمهورية العربية السورية.

3-1-1 الإسمنت البورتلاندي:

تم استخدام إسمنت لافارج (راسخ) (CEM I 42.5N) ماركة 42.5 نيوتن/مم² كمادة إسمنتية رئيسية وقد تم إجراء مجموعة من الاختبارات على هذا الإسمنت للتأكد من مدى مطابقته للمواصفات، فقد تم إجراء التجارب التالية:

زمن بداية ونهاية الأخذ - التمدد - مقاومة الضغط بأعمار مختلفة - مقاومة الإنعطاف.

وقد جرى ذلك في مركز الإختبارات والأبحاث الصناعية التابع لوزارة الصناعة في الجمهورية العربية السورية. وكانت نتائج إختبارات هذا الإسمنت مطابقة للمواصفات القياسية السورية رقم 2008/3411 من حيث الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية. [24]

3-1-2 الحصىات الخشنة:

بعد زيارة ميدانية لعدد من المجالس الببتونية في محافظة دمشق وريفها والتي تستخدم حصىات من مصادر مختلفة لإنتاج الببتون تم اعتماد حصىات مقالع النبك في ريف دمشق لإنتاج الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة.

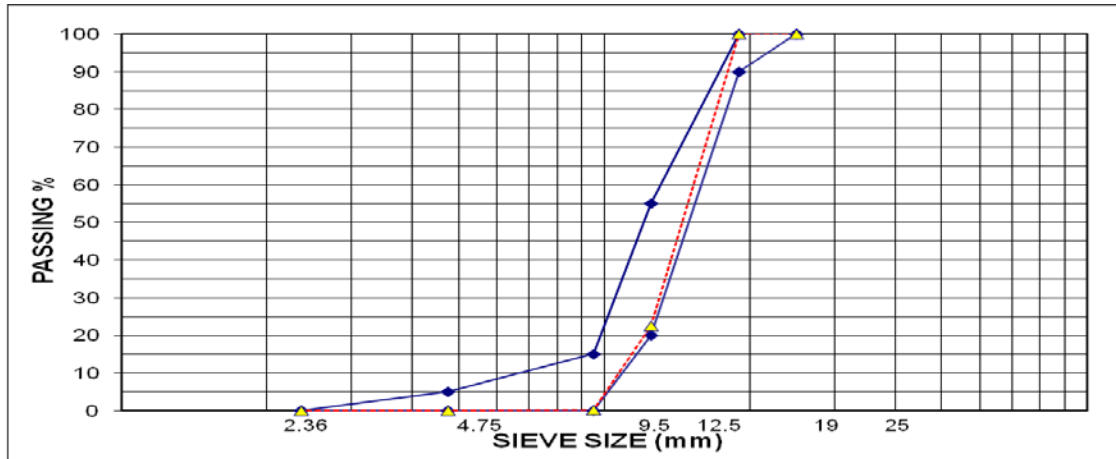
حيث تم استخدام بحص فولي بالإضافة إلى البحص العدسي وقد تم إجراء التجارب الأساسية للحصول على خصائصهما.

3-1-2-1 البحص الفولي:

لقد تم إجراء تجربة التدرج الحبي للبحص الفولي والذي كان مطابقاً للحزمة رقم 6 حسب المواصفة (ASTM C33) وكانت نتيجة التدرج الحبي على الشكل التالي:

قياس المنخل		المحجوز الكلي التراكمي (غرام)	المحجوز الكلي التراكمي (%)	المار الكلي التراكمي (%)	الحدود المسموحة	
انث	مم				min.	max.
1.0"	25	0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19	0	0.00	100.00	90	100
1 1/2"	12.5	3100	77.50	22.50	20	55
3/8"	9.5	3993	99.83	0.17	0	15
# 4	4.75	4000	100.00	0.00	0	5
# 8	2.36	4000	100.00	0.00	0	0

الجدول (3-1) نتائج التدرج الحبي للبحص الفولي



المنحني (3-1) منحني التدرج الحبي للبحص الفولي

هذا وقد تم إجراء تجربة الوزن النوعي والإمتصاص لكل من البحص الفولي والعدسي حسب المواصفة (ASTM C127) وكانت النتائج على الشكل التالي: [21,23]

Customer Reference	البحص الفولي	البحص العدسي
Sample Reference	A	B
Weight (SSD) (g)-B	2500	2000
Weight oven dry (g)-A	2492	1992
Weight in water (g)-C	1587	1265
Bulk Specific Gravity A/(B-C)	2.73	2.71
Bulk Specific Gravity (SSD) B/(B-C)	2.74	2.72
Apparent Specific Gravity B/(A-C)	2.76	2.75
Absorption % [(B-A)/A] x100	0.3 %	0.4 %

جدول (3-2) الوزن النوعي والإمتصاص للبحص الفولي والعدسي

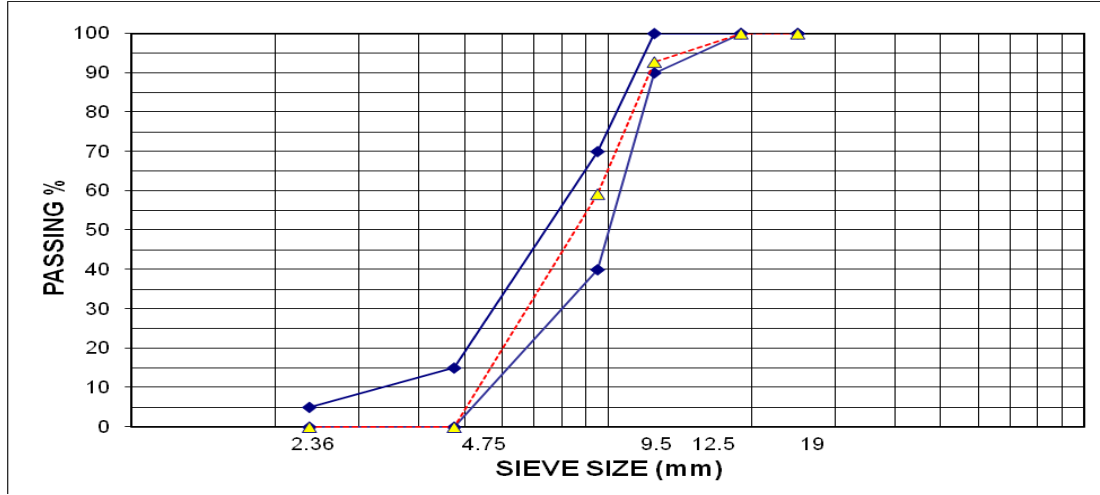
3-1-2-2 البحص العدسي:

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

وكانت نتيجة التدرج الحبي على الشكل التالي:

قياس المنخل	المحجوز الكلي التراكمي (غرام)	المحجوز الكلي التراكمي (%)	المار الكلي التراكمي (%)	الحدود المسموحة	
				min.	max.
انثش	مم				
1.0"	25	0	0.00	100.00	100
3\4"	19	0	0.00	100.00	100
1\2"	12.5	290	7.25	92.75	90
3\8"	9.5	1632	40.80	59.20	40
# 4	4.75	4000	100.00	0.00	0
# 8	2.36	4000	100.00	0.00	0
PAN					5

جدول (3-3) التدرج الحبي للبحص العدسي



منحني (3-2) منحني التدرج الحبي للبحص العدسي

3-1-3 الحصىيات الناعمة:

تم استخدام نوعين من الحصىيات الناعمة (الرمل):

1- رمل الكسر (تم اعتماد رمل الكسر لمقالع النبك-ريف دمشق).

2- رمل مزار.

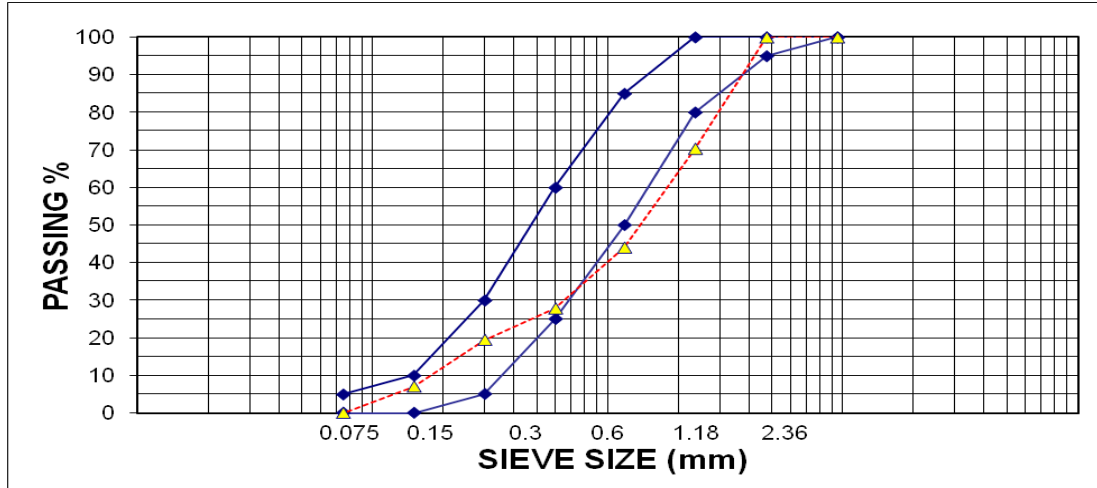
3-1-3-1 رمل الكسر:

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

قياس المنخل	المحجوز الكلي التراكمي (غرام)	المحجوز الكلي التراكمي (%)	المار التراكمي (%)	الحدود المسموحة	
				min.	max.
انث 3/8"	9.5	0	100.00	100	100
#4	4.75	0	100.00	95	100
#8	2.36	445	29.67	80	100
#16	1.18	840	56.00	50	85
#30	0.60	1083	72.20	25	60
#50	0.30	1208	80.53	5	30
#100	0.15	1395	93.00	0	10
#200	0.075	1500	100.00	0	5
PAN		FM :	3.31		

جدول (3-4) التدرج الحبي لرمل الكسر

نلاحظ أن معامل النعومة: 3.31 أي أن الرمل خشن.



منحني (3-3) منحني التدرج الحبي لرمل الكسر

هذا وقد تم إجراء تجربة الوزن النوعي والإمتصاص لكل من رمل الكسر ورمل المزار وكانت النتيجة على الشكل التالي: [21,23]

Customer Reference	رمل الكسر	رمل المزار
Sample Reference	A	B
Weight (SSD) (g)-S*	500	500
Pycno+Sample+Water (g)-C	971	963
Pycno+Water (g)-B	658	658
Sample weight (oven dry) (g)-A	496	498
Bulk Specific Gravity A/(S-C+B)	2.65	2.55
Bulk Specific Gravity (SSD) S/(S-C+B)	2.67	2.56
Apparent Specific Gravity A/(B+A-C)	2.71	2.58
Absorption % [(S-A)/A] x100	0.8 %	0.4 %

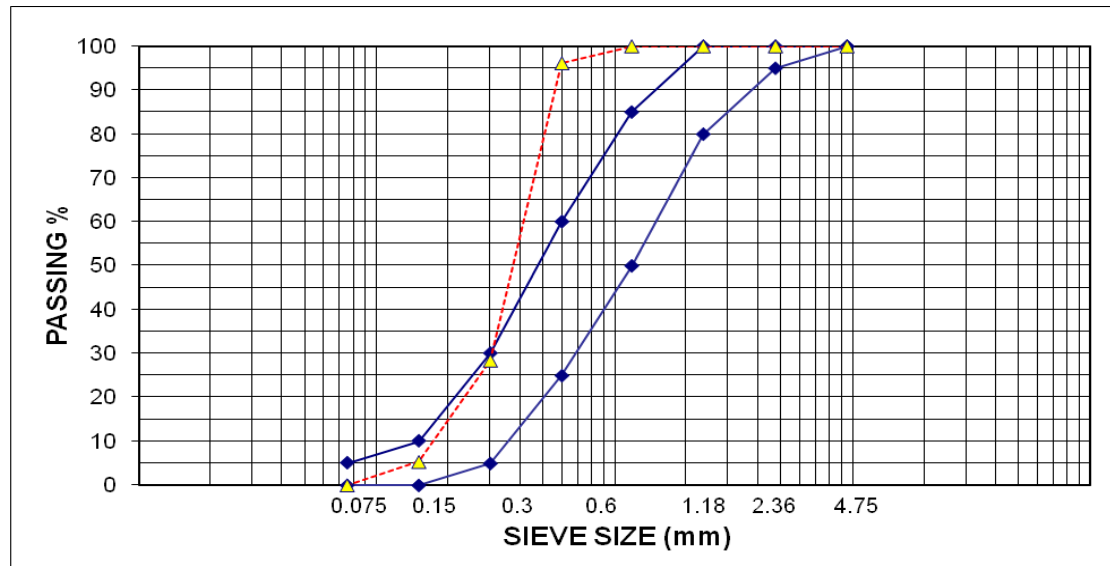
جدول (3-5) الوزن النوعي والإمتصاص لرمل الكسر والمزار

3-1-3-2 رمل المزار:

تم إجراء تجربة التدرج الحبي لرمل المزار الذي لم يكن محققاً للتدرج النظامي (ASTM C33) وكانت النتيجة على الشكل التالي:

قياس المنخل		المحجوز الكلي التراكمي (غرام)	المحجوز الكلي التراكمي (%)	المار الكلي التراكمي (%)	الحدود المسموحة	
انثش	مم				min.	max.
3\8"	9.5	0	0.00	100.00	100	100
#4	4.75	0	0.00	100.00	95	100
#8	2.36	0	0.00	100.00	80	100
#16	1.18	0	0.00	100.00	50	85
#30	0.60	58	3.87	96.13	25	60
#50	0.30	1074	71.60	28.40	5	30
#100	0.15	1420	94.67	5.33	0	10
#200	0.075	1500	100.00	0.00	0	5
PAN			FM :	1.70		

جدول (3-6) التدرج الحبي لرمل المزار



منحني (3-4) منحني التدرج الحبي لرمل المزار

هذا وتجدر الإشارة إلى أن الحصى كانت جافة تماما ولا تحتوي على أي رطوبة.

3-1-4 المواد الإسمنتية الثانوية (SCM) :

كما ذكرنا فإن المواد الإسمنتية الثانوية كالسليكا والرماد المتطاير وخبث الحديد والنواعم التي تمر من المهزة رقم (No.100) تحسن من خواص الببتون ذاتي التوضع فهي تؤدي إلى زيادة استقرار وثبات هذا الببتون.

3-1-4-1 السيليكا فيوم:

إن السيليكا فيوم المستخدم عبارة عن مادة رمادية اللون وزنها النوعي 2200 كغ/م³ وهي من إنتاج شركة باكسل .

هذا وقد حصلنا على النشرة الفنية الخاصة بهذا المنتج والتي تبين خصائصه-التركيب الكيميائي والكمية الموصى بها بالإضافة إلى فوائده واستخداماته وغيرها.

3-1-5 الخلائط:

3-1-5-1 مخفضات الماء عالية الأداء(الملدنات):

تم اعتماد منتج شركة باكسل(PC700RX) وهو عبارة عن مادة ملدنة مخفضة للماء عالية الأداء ذات لون بني وهي من النوع البولي كربوكسيل.

إن هذا الملدن هو من النوع (Type F_ ASTM C494) ومطابق للمواصفة

(ASTM C1017) تبلغ كثافته (1.1 ± 0.2 كغ/لتر)، وقد حصلنا على النشرة الفنية الخاصة

بهذا المنتج والتي تحتوي على اسمه التجاري وفوائده واستخداماته بالإضافة إلى معلومات الدعم الفني وغيرها.

3-1-6 الماء:

تم استخدام ماء صالح للشرب خالي من الأملاح والمواد الضارة.

3-2 نسب المواد المستخدمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة:

إن لنسب المواد الداخلة في خلطات البيتون ذاتي التوضع الأهمية الكبيرة في الوصول إلى إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة. فالإختيار الخاطئ للمواد والنسب الغير مناسبة تؤدي إلى نتائج خاطئة وعدم التوصل إلى إنتاج البيتون المطلوب ذو المواصفات والخواص المحددة.

كما ذكرنا فإن هنالك العديد من الأبحاث والدراسات الخاصة بتصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع ومن الجدير بالذكر القول أن النسب المثلى من المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع تختلف باختلاف مواصفات المواد المختارة بحد ذاتها.

في هذا البحث قمنا بتصميم مجموعة من خلطات البيتون ذاتي التوضع بالإضافة إلى مجموعة أخرى من الخلطات الخاصة بالبيتون العادي وذلك من اجل المقارنة بين هذين النوعين من البيتون وتبسيط الضوء على إهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة في أعمال التشييد .

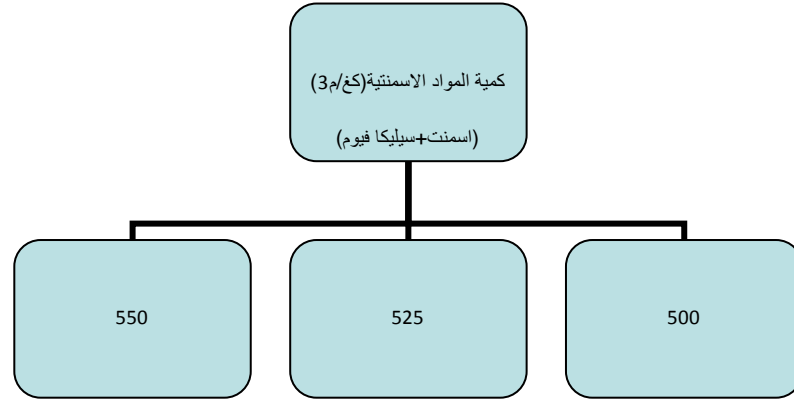
كما قمنا في هذا البحث بإجراء التجارب اللازمة لضمان جودة هذين النوعين من البيتون.

كما ذكرنا سابقا فقد قمنا باستخدام حصويات ذات تدرج ومواصفات محددة وإسمنت ذو مواصفات محددة بالإضافة إلى الماء والإضافات الأخرى.

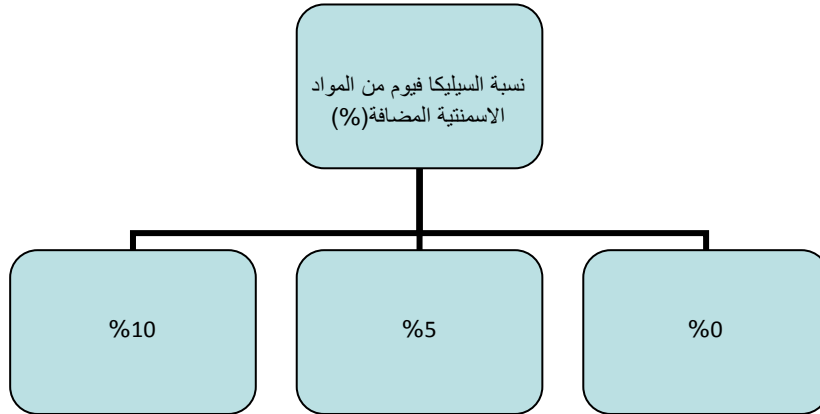
هذا وقد تم تثبيت نسب المواد الداخلة في الخلطات التي تم تصميمها على النحو التالي:

3-2-1 النسبة المئوية الإسمنتية (w/c+s) :

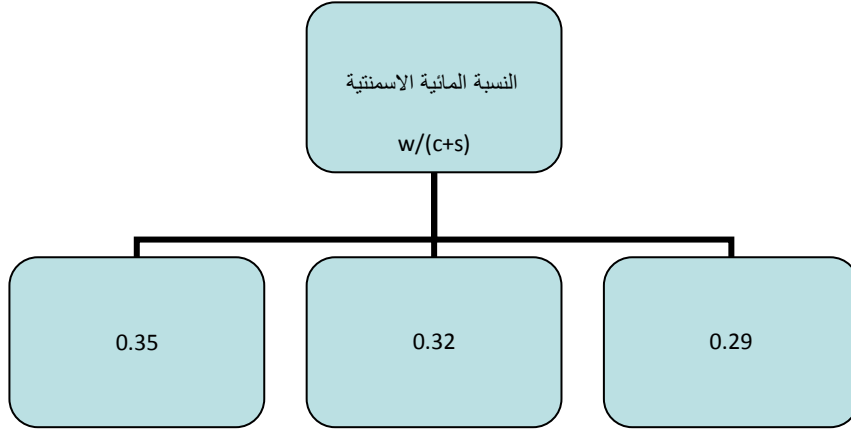
تم تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام ثلاث كميات من المواد الإسمنتية وهذا يتضمن الإسمنت بالإضافة إلى السيليكا فيوم:



هذا وقد بلغت كمية السيليكا فيوم كنسبة من كامل المواد الإسمنتية المضافة على النحو التالي:



أما فيما يتعلق بالنسبة المئوية الإسمنتية فقد تم تصميم الخلطات باستخدام ثلاث نسب مئوية إسمنتية $W/(C+S)$



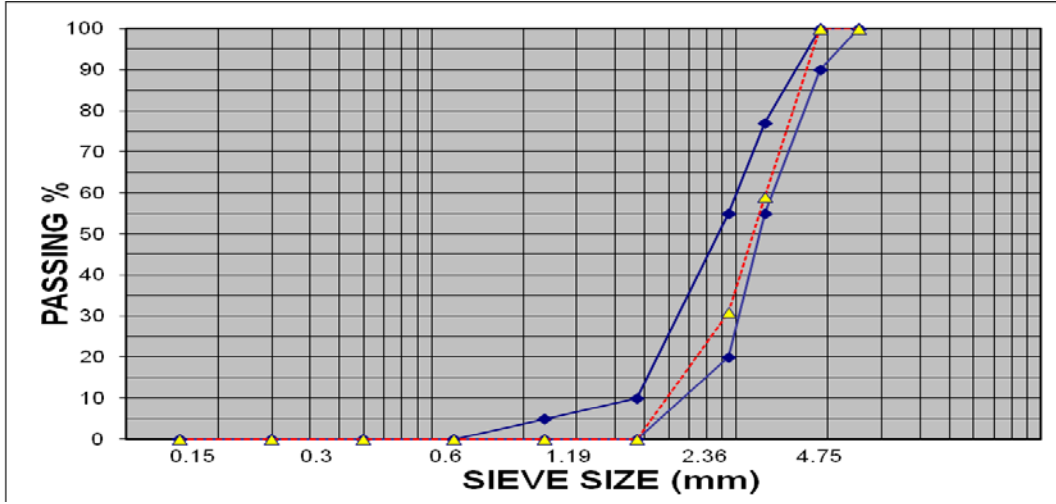
2-2-3 الحصويات:

لقد تم تحديد النسب المثلى من الحصويات الداخلة في تصميم الخلطة بحيث تقع الحصويات (الخشنة والناعمة) ضمن المجال النظامي الذي حدده الكود الأمريكي لاختيار المواد.

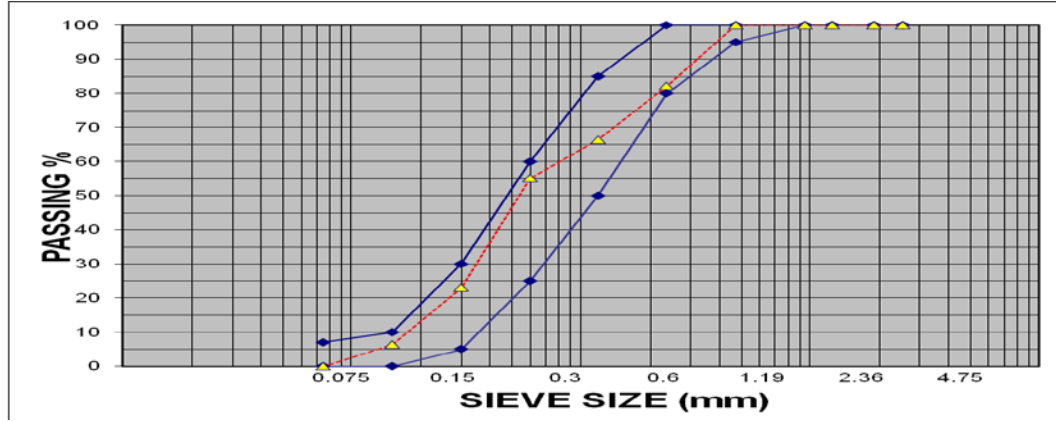
فكانت النسب على الشكل التالي:

نسبة الحصويات الناعمة %		نسبة الحصويات الخشنة %		نسبة الحصويات %	
رمل المزار	رمل الكسر	العدسي	الفولي	الحصويات الناعمة	الحصويات الخشنة
40%	60%	52%	48%	57%	43%

فكان منحنى التدرج الحبي بعد المزج على الشكل التالي مطابقا للمواصفة (ASTM-C33)



منحني (3-5) التدرج الحبي للبحص الفولي والعدسي بعد المزج



منحني (3-6) التدرج الحبي لرمال الكسر والمزار بعد المزج

3-3 إجراء الخلطات التجريبية:

رغم التقدم العلمي الكبير في مجال الببتون فإنه لا توجد طريقة ثابتة خاصة بتصميم الببتون بشكل عام والببتون ذاتي التوضع بشكل خاص، فجميع الدراسات التي تمت للوصول إلى إنتاج الببتون ذاتي التوضع تعتمد على إجراء خلطات تجريبية غايتها الوصول إلى إنتاج الببتون ذاتي التوضع بأقل كلفة اقتصادية وأعلى مقاومة ممكنة. [15,26]

لقد أجرى المعهد الأمريكي للببتون عددا من الدراسات التجريبية وذلك من خلال القيام بإجراء خلطات تجريبية للوصول إلى الببتون ذاتي التوضع، واعتمد أيضا على دراسات أجريت سابقا من قبل باحثين في مختلف أنحاء العالم وأصدر كتيباً يعتبر كمرجع يمكن الاستفادة منه عند تصميم خلطات الببتون ذاتي التوضع، وهو ACI237R-Self Consolidating Concrete

كما أصدر المجلس الأوروبي دليلاً يمكن الاستفادة منه في تصميم خلطات الببتون ذاتي التوضع وهو: The European Guideline for Self Compacting Concrete

3-3-1 التجارب المنجزة:

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

تم الاعتماد في تصميم خلطات الببتون ذاتي التوضع على معادلة الحجم المطلقة:

$$\frac{C}{\gamma_c} + \frac{Silica}{\gamma_{silica}} + \frac{W}{\gamma_w} + \frac{C.Agg}{\gamma_{c.Agg}} + \frac{F.Agg}{\gamma_{f.Agg}} + \frac{SP}{\gamma_{sp}} = 1$$

علاقة رقم (3-1)

حيث:

:C, Silica, W, C.Agg, W, F.Agg, SP

الوزن بالطن (الإسمنت-السيليكا-الماء-الحصويات الخشنة-الحصويات الناعمة-الملدن)

: $\gamma_c, \gamma_{silica}, \gamma_w, \gamma_{c.Agg}, \gamma_{f.Agg}, \gamma_{sp}$

الوزن النوعي طن/م³ (إسمنت-سيليكا-حصويات خشنة-حصويات ناعمة-ملدن)

كما قمنا بالاستعانة بالدليل الأوروبي لإنتاج الببتون ذاتي التوضع بالإضافة إلى الكتيب الخاص بالمعهد الأمريكي للببتون.

لقد بلغ عدد الخلطات التي تم تصميمها فيما يتعلق بالببتون ذاتي التوضع 27 خلطة تضمنت

ثلاث نسب مائة إسمنتية (0.29-0.32-0.35): W/(C+S)

وضمن كل نسبة مائة إسمنتية، تم إجراء 9 خلطات باستخدام 3 نسب لاستبدال الإسمنت بالسيليكا

فيوم (0%-5%-10%) حيث بلغت كمية المواد الإسمنتية (إسمنت+سيليكا فيوم) المستخدمة في

الخلطات (500-525-550) كغ/م³.

والجدول رقم (3-7) يبين كل الخلطات التي تم تصميمها والنسب المئوية الإسمنتية بالإضافة إلى كميات الإسمنت والسليكا فيوم الداخلة في هذه الخلطات.

self compacting concrete(SCC)																	
W/(C+S)																	
0.29						0.32						0.35					
Silica Fume%																	
0%			5%			10%			0%			5%			10%		
Cement+Silica(kg/m3)																	
500	525	550	500	525	550	500	525	550	500	525	550	500	525	550	500	525	550

جدول رقم(3-7) خلطات البيتون ذاتي التوضع المصممة

3-3-2 خلط البيتون:

إن عملية خلط البيتون تتم بشكل عام إما باستخدام خلاطة مناسبة أو بطريقة يدوية.

إن جميع خلطات البيتون ذاتي التوضع تم تحضيرها باستخدام خلاطة مخبرية صغيرة ،حيث تم تحديد الأوزان اللازمة للخلطة حسب النسب التي تم تحديدها سابقا وبالاعتماد على الدراسات السابقة بحيث يكون حجم البيتون المخلوط يزيد بحوالي 10% عن الحجم اللازم لصب القوالب المطلوبة.

تم إجراء عملية خلط البيتون على الشكل التالي:

- 1- تم وضع كامل كمية الحصى في الخلاطة داخل الخلاطة المخبرية.
 - 2- تم إضافة نصف كمية الماء اللازم للخلطة.
 - 3- تدوير الخلاطة لحوالي دقيقتين.
 - 4- تم إضافة الإسمنت بالإضافة إلى السليكا فيوم مع باقي كمية الماء المتبقية ممزوجة بالملدن المستخدم.
 - 5- تدوير الخلاطة لمدة تبلغ 5 دقائق.
 - 6- إفراغ البيتون من الخلاطة والبدء باختبارات ضبط جودة البيتون.
- وبالتالي فقد بلغت مدة خلط مكونات البيتون 8 دقائق للحصول على مزيج متجانس من البيتون ذاتي التوضع.

3-3-3 ضبط الجودة:

إن اجراء التجارب الخاصة بضبط جودة البيتون الناتج عن الخلطات التجريبية هي عملية ضرورية لا بد منها للتأكد من خصائص البيتون ومطابقتها للمواصفات المحددة.

يوضح الجدول (3-8) التجارب التي تم إجراؤها للتحقق من خصائص البيتون ذاتي التوضع.

التجربة	الخاصية
قطر الانتشار (مخروط أبرامز)-زمن الانتشار T500	قابلية الملئ
L-box	قابلية المرور
اختبار الاستقرار في المنخل-مؤشر الثبات المرئي	الثبات

جدول رقم(3-8) التجارب المنجزة

3-3-3-1 اختبار قطر الانتشار وزمن T500:

تم إجراء تجربة انتشار البيتون ذاتي التوضع وزمن T500 وذلك لقياس مدى قابلية الملئ لهذا البيتون وذلك طبقا للمواصفة (ASTM C1611/C1611 M)

حيث تم قياس قطر الانتشار باتجاهين متعامدين وحساب المتوسط وذلك حسب العلاقة (1-1)، كما تم قياس الزمن اللازم لانتشار البيتون ذاتي التوضع على قطر 500 مم، والصورة التالية توضح كيفية قياس قطر الانتشار.



صورة رقم(3-2) قياس قطر الانتشار



صورة رقم(3-1)

تم تسجيل جميع النتائج الخاصة بهذه التجربة وذلك لكل الخلطات المصممة في الجدول (3-9)

self compacting concrete(SCC)																										
W/(C+S)																										
0.29									0.32									0.35								
Silica Fume																										
0%			5%			10%			0%			5%			10%			0%			5%			10%		
Cement+Silica(kg/m3)																										
500			525			550			500			525			550			500			525			550		
Slump Flow(SF)-mm																										
75	75	76	73	73	74	71	72	73	76	74	74	75	75	73	75	74	73	71	68	72	71	70	71	70	69	71
T500-Sec																										
4	4	5	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	7	6	6	7	7	10	8	7	10	10	8	8	9	9

جدول رقم (3-9) نتائج قطر وزمن الانتشار

2-3-3-3 اختبار L-Box:

في هذه التجربة قمنا باختبار قابلية الببتون ذاتي التوضع على الجريان ضمن شبكة من التسليح تحت تأثير وزنه الذاتي وبدون استخدام الرجاج.

إن الشكل (1-3) يوضح الجهاز مع كامل أبعاده، كما توضح الصورة (3-3) إجراء التجربة.



صورة رقم (3-3) إجراء تجربة قابلية المرور

تم حساب قابلية المرور للببتون ذاتي التوضع باستخدام العلاقة رقم (1-2) والجدول رقم (3-10) يوضح كامل نتائج الإختبارات الخاصة بهذه التجربة.

self compacting concrete(SCC)																										
W/(C+S)																										
0.29									0.32									0.35								
Silica Fume																										
0%			5%			10%			0%			5%			10%			0%			5%			10%		
Cement+Silica(kg/m3)																										
500			525			550			500			525			550			500			525			550		
Passing Ability(H2/H1)%																										
90	89	92	92	89	92	94	92	93	92	89	90	91	89	90	92	91	92	83	87	89	84	84	89	87	87	90

جدول رقم(10-3)نتائج قابلية المرور للبيتون ذاتي التوضع

3-3-3-3 اختبار الاستقرار في المنخل:

بعد التحقق من خواص البيتون ذاتي التوضع السابقة (قابلية الملىء-قابلية المرور) نقوم باجراء تجربة الاستقرار في المنخل صورة رقم (4-3) للتأكد من ثبات البيتون وعدم قابلية مكوناته للإنفصال .



صورة رقم (4-3) تجربة الاستقرار في المنخل

نقوم بحساب قيمة الإستقرار في المنخل بالإعتماد على العلاقة رقم (3-1).

تم تسجيل قيم النتائج الخاصة بتجربة الإستقرار في المنخل في الجدول رقم(11-3)

self compacting concrete(SCC)																										
W/(C+S)																										
0.29									0.32									0.35								
Silica Fume																										
0%			5%			10%			0%			5%			10%			0%			5%			10%		
Cement+Silica(kg/m3)																										
500			525			550			500			525			550			500			525			550		
Segregation Resistance (SR)%																										
89.2	88.1	90.4	91.6	89.9	91.2	93	91.8	92.6	90	89	88	90	90	91	90	92	92	88	88	89	83	85	87	88	88	91

جدول رقم(3-11) نتائج تجربة الإستقرار في المنخل

3-3-4 صب البيتون:

بعد الإنتهاء من عملية خلط البيتون وإجراء التجارب اللازمة للتأكد من جودة البيتون ذاتي التوضع ، قمنا بصب البيتون في قوالب مكعبية قياس $10*10*10$ سم كما هو واضح في الصورة رقم (3-5) 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 .



صورة رقم(3-5) صب العينات البيتونية

إن عدد العينات اللازم صبها يعتمد على البرنامج العملي المطلوب ،غالبا ما يتم صب 3عينات من أجل كل عمر للإختبار وظروف الإختبار(ASTM C192).

هذا وتجدر الإشارة إلى أن عدد العينات التي تم صبها هو 12 عينة لكل تجربة وذلك لإختبار مقاومتها على الكسر بعد 7-28-56-90 يوم .وبالتالي فقد بلغ إجمالي العينات التي تم صبها من البيتون ذاتي التوضع $12*27=324$ عينة .

هذا وينبغي الإشارة إلى أنه يتم صب البيتون بالقرب من مكان التخزين، وإلا فيجب نقل هذه العينات إلى مكان التخزين حال صبها مع ضرورة الإنتباه إلى عدم ميلان القالب أو حدوث أي ندب خلال نقل القوالب إلى مكان التخزين. [22,25]

3-3-5 معالجة البيتون:

بعد صب العينات البيتونية ولمنع تبخر الماء من البيتون المصبوب فيجب تغطية البيتون حال الإنتهاء من عملية الصب بمادة لا تمتص الماء وخاملة كيميائيا غير قابلة للتفاعل مع المكونات.

يتم حفظ العينات البيتونية المصبوبة فور الإنتهاء من عملية الصب ولغاية فك القوالب وذلك لمنع فقدان الرطوبة من العينات.

يتم إزالة العينات من القوالب بعد حوالي 24 ± 8 h من الصب.

إن جميع العينات ينبغي أن تكون معالجة بالرطوبة بدرجة حرارة $23 \pm 2^\circ\text{C}$ منذ صب العينات

ولغاية اختبارها، وذلك من خلال وضع العينات بخزان ماء أو غرفة رطبة بدرجة الحرارة المحددة أعلاه وذلك طبقا للمواصفة ASTM C511 .



صورة رقم (3-6) العينات البيتونية بعد فك القوالب

3-3-6 كسر العينات :

اعتمدنا في تجاربنا كسر العينات بعمر 7-28-56-90 يوم، حيث تم كسر 3 عينات لمعرفة المقاومة عند كل عمر و قد كانت النتائج التي حصلنا عليها في هذه التجربة على الشكل التالي جدول (3-12).

self compacting concrete(SCC)																													
W/(C+S)																													
0.29						0.32						0.35																	
Silica Fume																													
0%			5%			10%			0%			5%			10%														
Cement+Silica(kg/m3)																													
500			525			550			500			525			550														
Strength(Mpa)-7days																													
41	47	45	51	50	50	54	55	53	48	47	46	47	48	48	48	49	49	38	43	44	38	44	44	38	44	43	39	43	44
Strength(Mpa)-28days																													
57	57	57	64	66	65	67	70	72	53	57	55	54	56	56	54	56	57	47	48	47	46	50	48	48	48	48	50	48	49
Strength(Mpa)-56days																													
62	60	61	66	69	64	69	75	76	52	56	55	56	56	55	58	57	58	44	48	50	47	50	50	48	48	48	50	51	51
Strength(Mpa)-90days																													
64	63	63	68	70	67	69	73	78	54	56	55	55	55	57	57	59	59	45	48	51	48	46	51	49	49	50	50	51	51

جدول (3-12) المقاومة المتوسطة لعينات البيتون ذاتي التوضع

تم كسر العينات باستخدام جهاز كسر العينات البيتونية الذي يعطينا قوة كسر العينة ومن ثم يتم حساب مقاومة الكسر باستخدام العلاقة رقم(2-3)

$$\sigma = P/A \dots \dots \dots \text{علاقة رقم (2-3)}$$

حيث:

σ : مقاومة الكسر نيوتن/مم² (apM).

P: قوة الكسر (نيوتن)

A: مساحة سطح الكسر (مم²).

إن القيم الموضحة في الجدول رقم(3-12) هي المقاومة المتوسطة الناتجة عن كسر ثلاث عينات.



صورة (3-7) جهاز كسر العينات البيتونية



صورة (3-8) عينة بيتونية بعد الكسر

3-4 انتاج البيتون العادي:

في تصميم خلطات البيتون العادي تم استخدام المواد نفسها وبنفس نسب المواد التي تم استخدامها للبيتون ذاتي التوضع إلا أنه لم يتم استبدال الإسمنت بالسيليكا فيوم كما أنه تم استخدام نوع آخر من الملدنات ذو أساس نفتاليني (Buima) يتراوح العيار المستخدم من هذا الملدن حسب الشركة المصنعة

(0.5-1.8)% من وزن الإسمنت ،هذا ويختلف هذا الملدن عن الملدن المستخدم في إنتاج الببتون ذاتي التوضع (البولي كربوكسيل).

Material Data			
Material	specific gravity(Ton/m3)	Absorption%	Moisture%
Cement	3.15	N/A	N/A
Additive-silica fume	2.2	N/A	N/A
Coarse aggregate(CA1 20mm)	2.74	0.3	0
Coarse aggregate(CA2 10mm)	2.72	0.4	0
Fine Aggregate(sand)	2.63	0.64	0

جدول (3-13) مواصفات المواد الداخلة في الببتون العادي

Coarse Aggregate Optimization	
Material	%by weight
CA1 20mm	48
CA2 10mm	52
Cr-sand	60
Nat.sand	40

جدول (3-14) نسب الحصويات للببتون العادي

تم تصميم خلطات الببتون العادي باستخدام النسب المئوية الإسمنتية نفسها وكمية المواد الإسمنتية نفسها للببتون ذاتي التوضع والجدول رقم(3-15) يوضح الخلطات التي تم تصميمها.

تم خلط الببتون العادي بنفس الطريقة التي تم فيها خلط الببتون ذاتي التوضع ،أما بالنسبة لضبط جودة هذا الببتون فقد تم إجراء تجربة مخروط أبرامز حسب المواصفة الأمريكية ASTM C143.



صورة (3-9) اختبار هبوط المخروط للببتون العادي

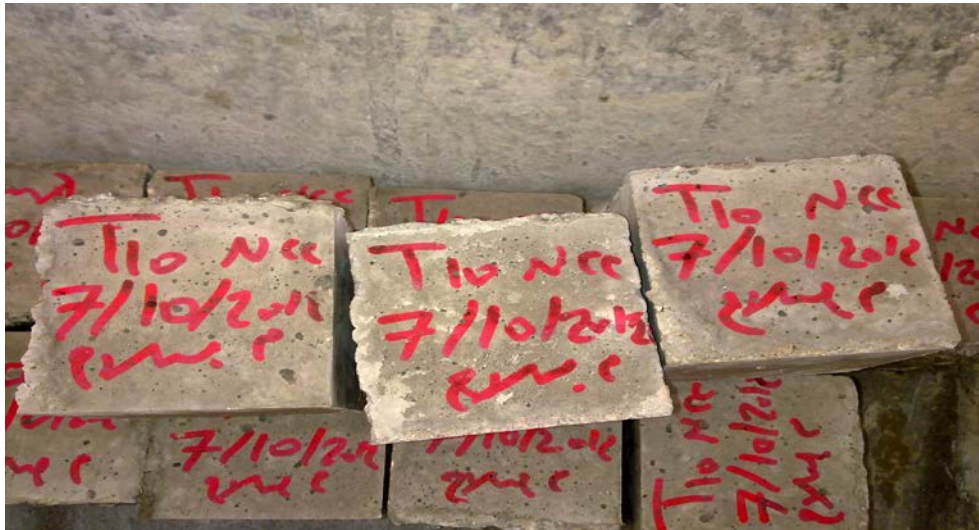
Normal compacting concrete(NCC)								
W/C								
0.29			0.32			0.35		
Cement+Silica(kg/m3)								
500	525	550	500	525	550	500	525	550
Slump-mm								
-	-	-	20	-	-	16	18	18

جدول (3-15) نتائج هبوط المخروط للبيتون العادي

ومن الجدير بالذكر أنه لم يتمكن من انتاج البيتون العادي عند نسبة مائة إسمنتية $W/C=0.29$ حيث كانت الخلطات قاسية على الرغم من استخدام النسبة الأعظمية المسموح استخدامها للملدن على الرغم من أنها أبدت سلوكا يشابه سلوك البيتون ذاتي التوضع.

وكذلك كان الأمر عند استخدام كمية اسمنت 525-550 كغ/م³ من اجل نسب مائة إسمنتية $W/C=0.32$.

تم صب ومعالجة البيتون العادي بنفس طريقة البيتون ذاتي التوضع مع الإشارة إلى أنه تم دمك البيتون العادي أثناء صبه في القوالب فالبيتون العادي لايتوضع ذاتيا في القالب ،هذا وقد بلغ عدد العينات التي تم صبها من البيتون العادي لكل تجربة 12 قالب قياس 10*10*10 سم.



صورة (3-10) عينات من البيتون العادي بعد التصلب

أما بالنسبة للعدد الكلي للقوالب المصبوبة فقد بلغ 48 قالب وذلك لأنه قد تم تصميم 4 خلطات من البيتون العادي فقط وذلك لعدم القدرة على إنتاج البيتون العادي عند تخفيض النسبة المئوية الإسمنتية والجدول رقم (3-15) يوضح ذلك.

لقد تم كسر عينات البيتون العادي باستخدام جهاز الكسر وذلك عند أعمار 7-28-56-90 يوم كما هو للبيتون ذاتي التوضع والجدول رقم (3-16) يوضح نتائج الكسر.

Normal compacting concrete(NCC)								
W/C								
0.29			0.32			0.35		
Cement(kg/m3)								
500	525	550	500	525	550	500	525	550
Strength(Mpa)-7days								
-	-	-	38.4	-	-	32	35.1	36.7
Strength(Mpa)-28days								
-	-	-	47.4	-	-	37.4	42.9	43.1
Strength(Mpa)-56days								
-	-	-	49	-	-	41.3	45.2	43.7
Strength(Mpa)-90days								
-	-	-	50.2	-	-	42.9	46.8	48.2

جدول (3-16) المقاومة المتوسطة لعينات البيتون العادي المصممة

الفصل الرابع

دراسة وتحليل النتائج المخبرية

الفصل الرابع

دراسة وتحليل النتائج المخبرية

بعد القيام بإجراء الخلطات التجريبية للوصول إلى البيتون ذاتي التوضع قمنا بإجراء التجارب اللازمة لضمان جودة البيتون الطازج والتأكد من الخواص الأساسية التي يجب أن يحققها. يعد ذلك قمنا بصب عينات من البيتون لكسرها على الضغط لمعرفة مقاومة هذا البيتون. وفي هذا الجزء سنتناول بالعرض والتحليل لأهم النتائج الناتجة عن الخلطات التجريبية التي تم تصميمها.

1-4 قطر الإنتشار وزمن T500:

عند إجراء التجارب الخاصة بقابلية البيتون ذاتي التوضع للملئ وباستخدام نسب مختلفة من السيليكا فيوم (0%-5%-10%) لاحظنا أنه من أجل خلطات البيتون ذاتي التوضع التي لها نفس النسبة المئوية الإسمنتية ومن أجل الكمية نفسها من المواد الإسمنتية، فإنه كلما ازدادت كمية السيليكا في الخلطة كلما كان قطر الإنتشار أقل نوعا ما، كما يزداد الزمن اللازم للإنتشار .
والعكس صحيح أي أنه كلما قلت نسبة السيليكا فيوم في الخلطة كلما ازداد قطر الإنتشار وانخفض الزمن اللازم له والجدول التالي توضح ذلك.

SCC	Cement+Silica=500 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
slump flow(cm)	75	73	71	76	75	75	71	71	70
T500 (sec)	4	5	5	6	6	6	10	10	8

جدول رقم(4-1)

SCC	Cement+Silica=525 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
slump flow(cm)	75	73	72	74	75	74	68	70	69
T500 (sec)	4	5	6	5	7	7	8	10	9

جدول رقم(4-2)

SCC	Cement+Silica=550 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
slump flow(cm)	76	74	73	74	73	73	72	71	71
T500 (sec)	5	6	6	6	6	7	7	8	9

جدول رقم(4-3)

4-2 قابلية المرور:

لاحظنا أنه من أجل خلطات الببتون ذاتي التوضع التي لها نفس النسبة المئوية الإسمنتية ومن أجل الكمية نفسها من المواد الإسمنتية فإنه كلما ازدادت كمية السيليكا في الخلطة، تحسنت قابلية المرور للببتون ذاتي التوضع ويعزى ذلك إلى تجانس الخلطة وثباتها النسبي الذي لاحظناه بزيادة نسبة السيليكا في الخلطة والجداول التالية توضح ذلك.

SCC	Cement+Silica=500 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
Passing ability%	90	92	94	92	91	92	83	84	87

جدول رقم (4-4)

SCC	Cement+Silica=525 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
Passing ability%	89	89	92	89	89	91	87	84	87

جدول رقم (4-5)

SCC	Cement+Silica=550 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
Passing ability%	92	92	93	90	90	92	89	89	90

جدول رقم (4-6)

4-3 الثبات وقابلية الانفصال:

لقد لاحظنا أن مقاومة الببتون ذاتي التوضع للانفصال تزداد بازدياد لزوجة وتجانس الببتون والذي ظهر بازدياد نسبة السيليكا في خلطات الببتون ذاتي التوضع، والجداول التالية توضح ذلك.

SCC	Cement+Silica=500 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
SR%	89	92	93	90	90	90	88	83	88

جدول رقم(4-7)

SCC	Cement+Silica=525 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
SR%	88	90	92	89	90	92	88	85	88

جدول (4-8)

SCC	Cement+Silica=550 kg/m3								
	W/C=0.29			W/C=0.32			W/C=0.35		
Silica %	0	5	10	0	5	10	0	5	10
SR%	90	91	93	88	91	92	89	87	91

جدول (4-9)

فالخلطات ذات المحتوى الأعلى من السيليكا تتميز بمقاومة أعلى للإنفصال كما أن مؤشر الثبات المرئي يدل على تجانس أعلى للبيتون ذاتي التوضع والصور التالية توضح ازدياد ثبات واستقرار البيتون ذاتي التوضع مع ازدياد محتوى السيليكا في الخلطات.



Cement+Silica=500 Kg/m3				Cement+Silica=500 Kg/m3				Cement+Silica=500 Kg/m3			
w/(C+S)	0.29	silica	10%	w/(C+S)	0.29	silica	5%	w/c	0.29	silica	0%
VSI	0			VSI	1			VSI	2		

صورة (4-1) توضح ثبات البيتون ذاتي التوضع مع ازدياد نسبة السيليكا فيوم في الخلطة

هذا وقد لاحظنا ظهور طبقة ذات لون مائل الى الأصفر عند صب عينات البيتون ذاتي التوضع والتي لاتحوي على أي نسبة من السيليكا فيوم بالمقارنة مع عينات البيتون ذاتي التوضع الحاوية على السيليكا والصور التالية توضح ذلك.



صورة(4-2) ظهور طبقة صفراء اللون لخلطات البيتون ذاتي التوضع الخالية من السيليكا

4-4 مقاومة البيتون ذاتي التوضع:

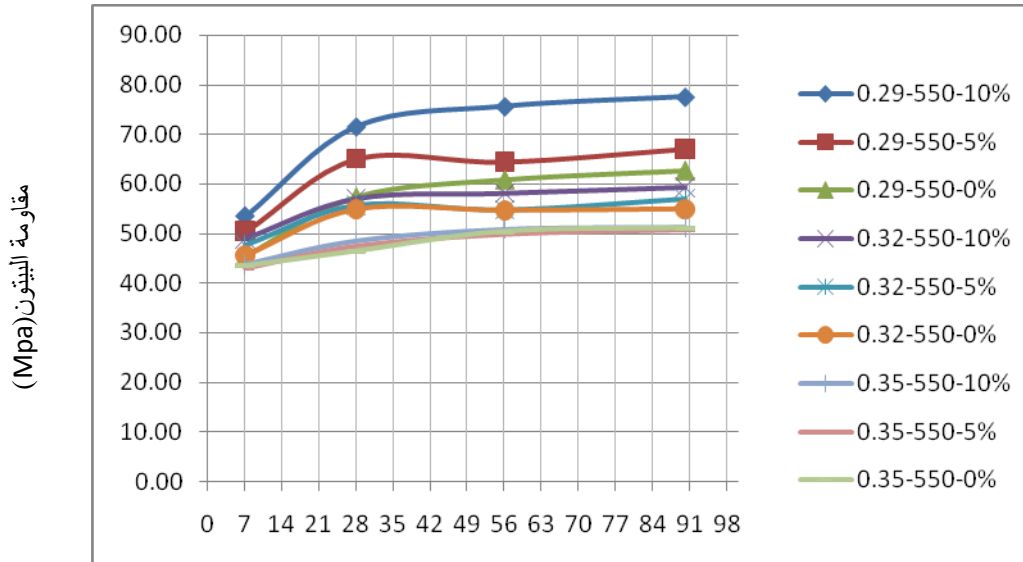
إن الجدول رقم (12-3) يوضح قيم المقاومة المتوسطة الناتجة عن كسر العينات الخاصة بكل خلطة من الخلطات التي تم تصميمها.

نلاحظ من المنحنيات التالية أن المقاومة تزداد كلما كانت النسبة المئوية الإسمنتية أقل، أي أنه من أجل الخلطات ذات النسبة المئوية الإسمنتية $W/C+S=0.29$ ، كانت المقاومة أعلى ما يمكن، هذا وقد كانت المقاومة أعلى عندما تم استخدام نسبة سيليكافيوم 10% منحني رقم(1-4).

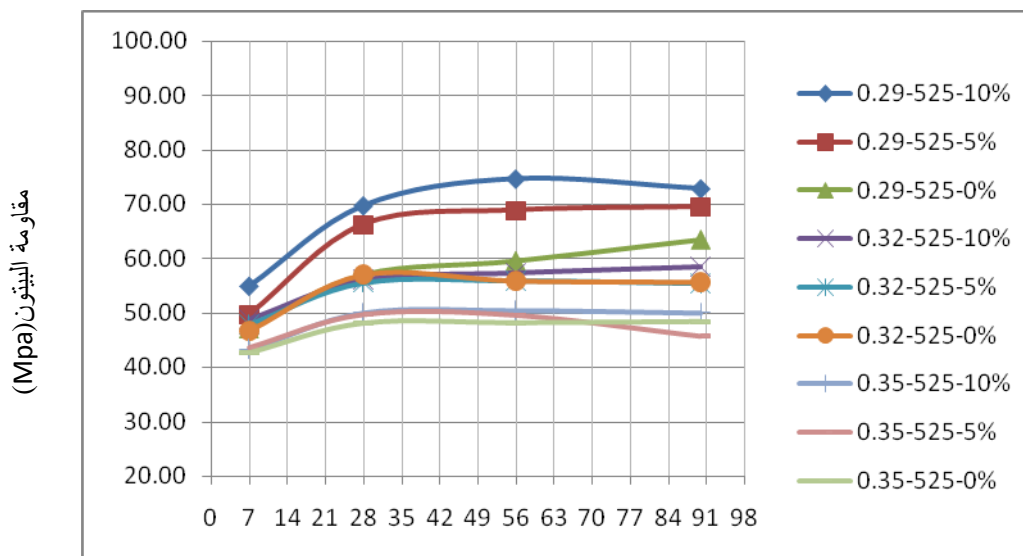
هذا وقد بلغت أعلى مقاومة من أجل النسبة $W/(C+S)=0.29$ وذلك من أجل عمر معالجة

28 يوم، 71.5 نيوتن/مم² وذلك باستخدام $C+S=550 \text{ kg/m}^3$ وسيليكافيوم 10%.

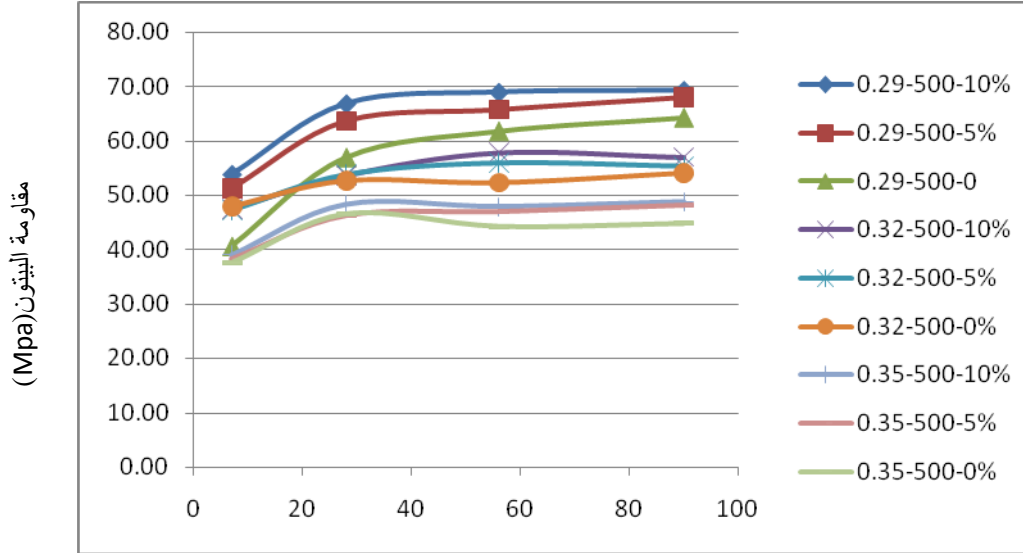
هذا وأن المقاومة من أجل كمية المواد الإسمنتية (إسمنت+سيليكافيوم) 550 كغ/م³ كانت أعلى من الكمية 500-525 كغ/م³ وذلك من أجل نفس النسبة المئوية الإسمنتية .



منحني رقم (4-1) مقاومة البيتون ذاتي التوضع مع الزمن (C+S=550kg/m³)
عمر البيتون (يوم)



منحني رقم (4-2) مقاومة البيتون ذاتي التوضع مع الزمن (C+S 525=kg/m³)
عمر البيتون (يوم)



عمر البتوتن (يوم)
منحني رقم (4-3) مقاومة البتوتن ذاتي التوضع مع الزمن (C+S=500kg/m³)

نلاحظ من المنحنيات السابقة أن أعلى مقاومة تم التوصل إليها لعمر 28 يوم كانت 71.5 نيوتن/مم² وذلك من W/(C+S)=0.29 - C+S=550 kg/m³- Silica=10% هذا وقد بلغت أعلى مقاومة على الإطلاق 77.6 نيوتن/مم² وذلك بعمر معالجة 90 يوم وذلك للخلطة W/(C+S)=0.29 - C+S=550kg/m³ - Silica=10%

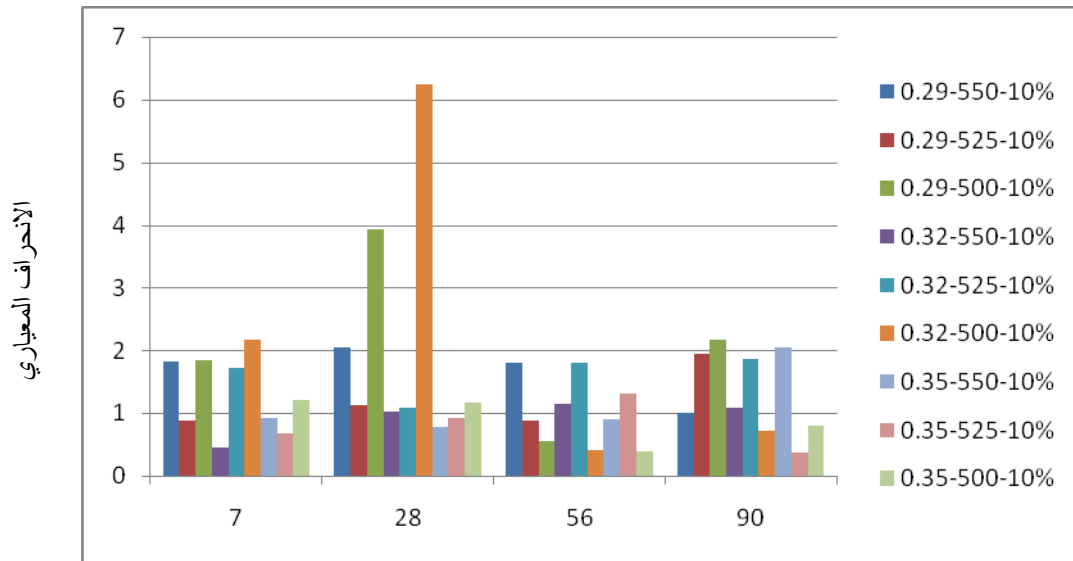
كما لاحظنا أنه من أجل عمر معالجة 56 يوم و90 يوم قد انخفضت المقاومة بشكل ضئيل من أجل بعض الخلطات منحي (4-2) مما ينصح بعض الباحثين لعدم استخدام البتوتن ذاتي التوضع في المنشآت مسبقاً الاجهاد وذلك خوفاً من حدوث التشققات في البتوتن.

كما لاحظنا عند كسر العينات وحساب قيمة الإنحراف المعياري للمقاومات الناتجة أنه من أجل نسبة مائية محددة فإن قيمة الإنحراف المعياري تزداد بشكل ملحوظ كلما كانت نسبة السيليكا فيوم في الخلطة أقل والجدول رقم (4-10) يوضح ذلك

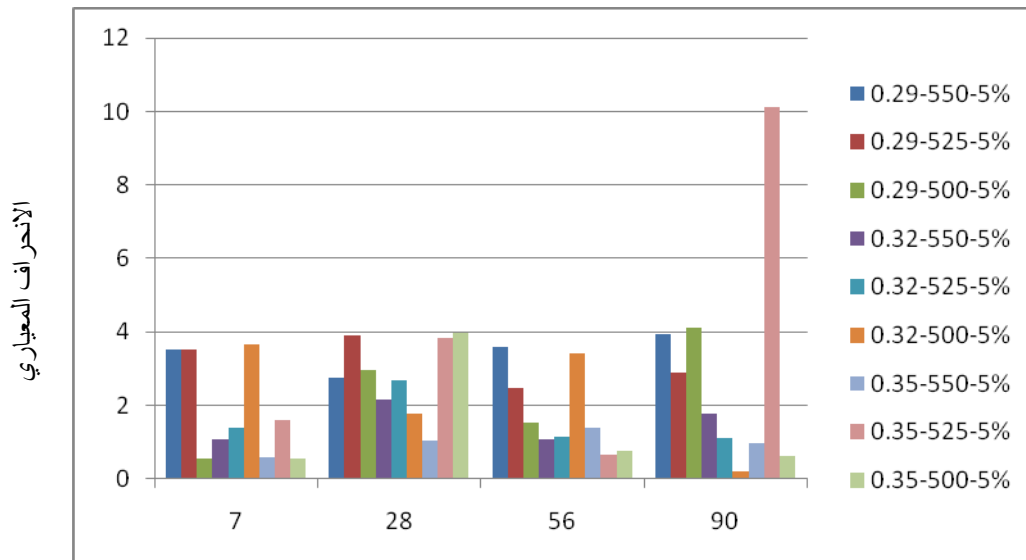
Mix(SCC)				Fcm(Mpa)				S(Deviation)			
W/(C+S)	(C+S) kg/m3	%Silica of (C+S)	%Super of (C+S)	7/day	28/day	56/day	90/day	7/day	28/day	56/day	90/day
0.29	550	10%	1.6	53.4	71.5	75.6	77.6	1.83	2.04	1.81	1
0.29	550	5%	1.6	50.4	65	64.4	67	3.51	2.75	3.58	3.95
0.29	550	0%	1.6	45.2	57.3	60.8	62.6	10.9	7.36	6.19	2.98
0.29	525	10%	1.6	54.9	69.7	74.7	72.9	0.89	1.13	0.88	1.94
0.29	525	5%	1.7	49.6	66.3	68.9	69.5	3.52	3.9	2.47	2.91
0.29	525	0%	1.6	47.2	57	59.6	63.4	11.5	3.97	6.93	2.37
0.29	500	10%	1.6	53.9	66.9	69	69.3	1.85	3.93	0.55	2.17
0.29	500	5%	1.6	51.2	63.6	65.7	68	0.57	2.96	1.55	4.12
0.29	500	0%	1.6	40.5	56.9	61.8	64.3	9.89	4.12	2.17	1.21
0.32	550	10%	1	48.8	57	58.1	59.3	0.46	1.03	1.15	1.09
0.32	550	5%	1	47.6	55.6	54.7	56.9	1.07	2.17	1.09	1.78
0.32	550	0%	1	45.5	54.9	54.7	54.9	3	2.71	2.62	1.39
0.32	525	10%	1	48.8	56.1	57.4	58.5	1.71	1.09	1.8	1.87
0.32	525	5%	1	47.9	55.5	55.9	55.4	1.41	2.7	1.16	1.1
0.32	525	0%	1	46.7	57	55.9	55.7	3.18	3.65	1.38	1.44
0.32	500	10%	0.8	47.5	53.7	57.8	57	2.17	6.24	0.4	0.71
0.32	500	5%	0.8	47.3	53.9	56	55.4	3.67	1.79	3.41	0.2
0.32	500	0%	0.8	48	52.7	52.3	54	3.15	3.91	6.25	0.48
0.35	550	10%	0.8	43.8	48.6	50.9	51.3	0.92	0.77	0.91	2.05
0.35	550	5%	0.8	43.1	47.5	49.9	50.8	0.59	1.03	1.39	0.97
0.35	550	0%	0.8	43.6	46.5	50.4	51.1	0.56	0.61	4.06	0.82
0.35	525	10%	0.6	43.2	50	50.5	50	0.67	0.92	1.3	0.36
0.35	525	5%	0.6	43.5	49.7	49.6	45.6	1.62	3.85	0.68	10.13
0.35	525	0%	0.6	42.7	48.1	48.2	48.4	4.1	0.78	1.43	1.62
0.35	500	10%	0.6	39.1	48.3	47.9	48.8	1.2	1.17	0.39	0.8
0.35	500	5%	0.6	38.3	46.3	47	48.1	0.55	3.96	0.77	0.62
0.35	500	0%	0.6	37.5	46.6	44.3	44.8	0.58	2.87	1.02	0.65

جدول (4-10) الإنحراف المعياري لمقاومة الببتون ذاتي التوضع

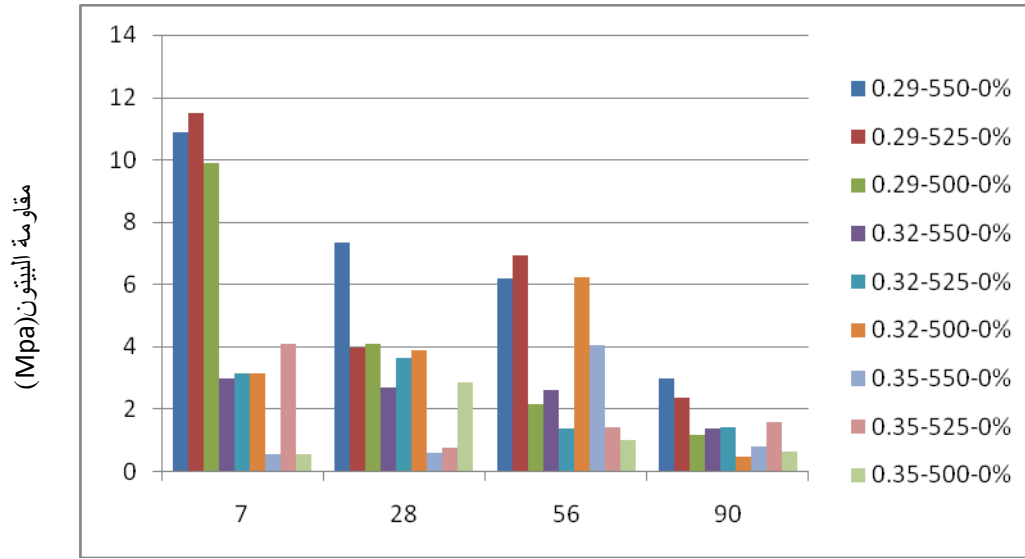
ويعزى هذا الإزدياد في قيمة الإنحراف المعياري في أنه كلما كانت نسبة السيليكا فيوم في الخلطة أقل فإن الخلطة تكون أقل تجانس من تلك الخلطات التي تحوي على نسبة أعلى من السيليكا فيوم، ويظهر ذلك بشكل واضح من خلال مؤشر الثبات المرئي.



منحني (4-4) الانحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع (Silica=10%)
عمر البيتون (يوم)



منحني (4-5) الانحراف المعياري لمقاومة البيتون ذاتي التوضع (Silica=5%)
عمر البيتون (يوم)



عمر الببتون (يوم)
منحني (4-6) الإنحراف المعياري لمقاومة الببتون ذاتي التوضع (Silica=0%)

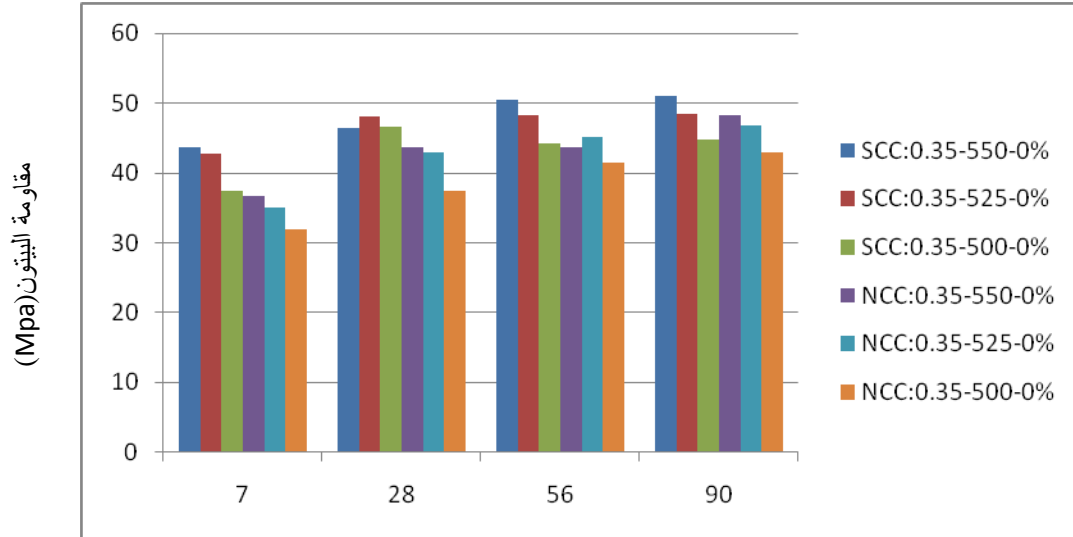
إن قيمة الإنحراف المعياري لمقاومة الببتون ذاتي التوضع من أجل نسبة سيليكيا فيوم 10% بلغت حوالي 2 نيوتن/مم² منحني (4-4).

في حين أن هذه القيمة قد ازدادت من أجل نسبة سيليكيا فيوم 5% الى حوالي 4 نيوتن/مم² منحني (4-5).

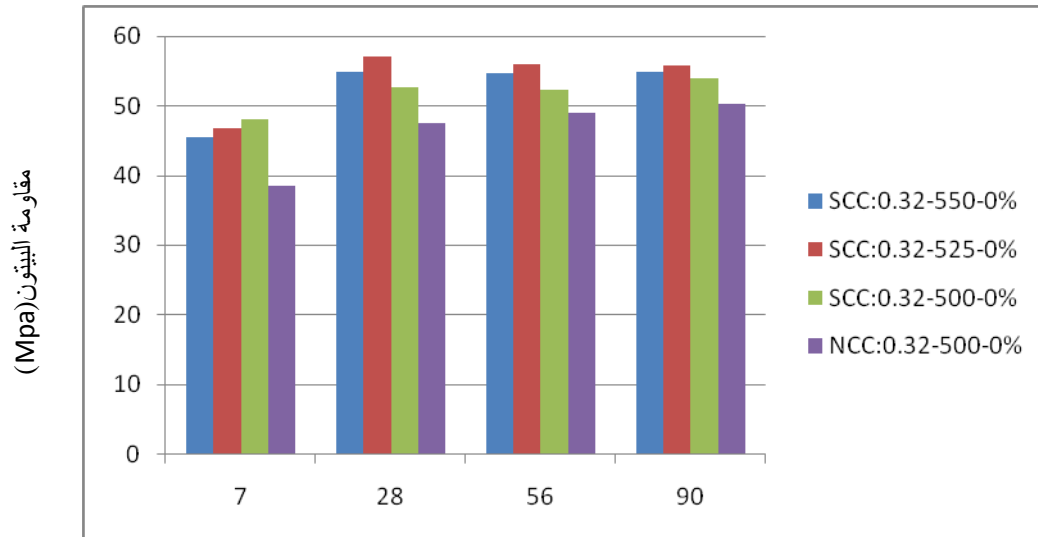
أما بالنسبة للببتون ذاتي التوضع والذي لا يحوي على السيليكيا فيوم فقد بلغت وسطيا 6 نيوتن/مم² مع ظهور قيم أعلى بالنسبة للعديد من الخلطات منحني (4-6).

5-4 مقاومة الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع:

نلاحظ من الرسم البياني أن مقاومة الببتون ذاتي التوضع أعلى من مقاومة الببتون العادي وذلك من أجل نفس النسبة المئوية للإسمنتية ومن أجل نفس كمية الإسمنت، وإن كانت هذه النتائج متقاربة نوعا ما.

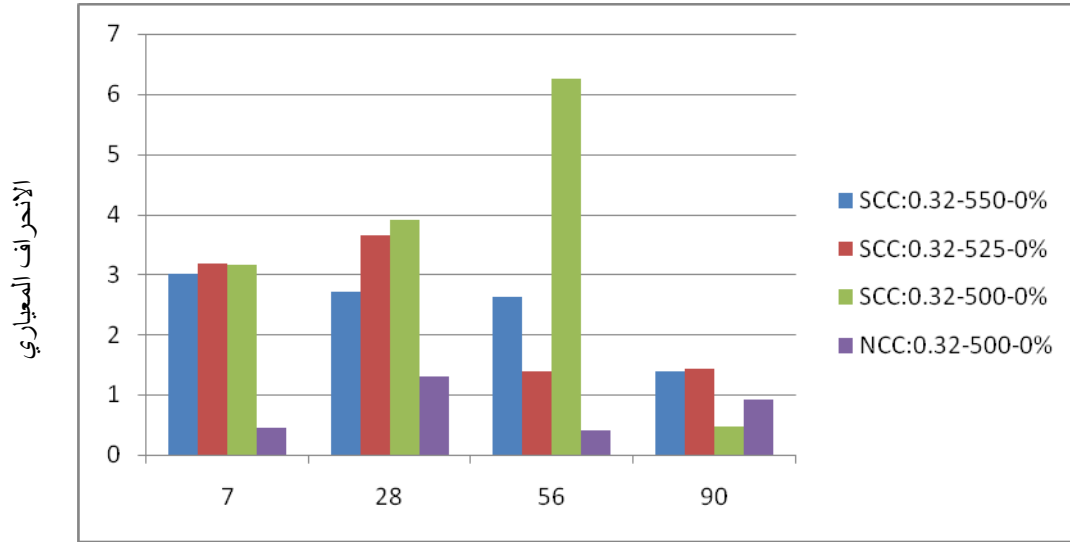


عمر الببتون (يوم)
منحني (4-7) مقاومة الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع W/C=0.35

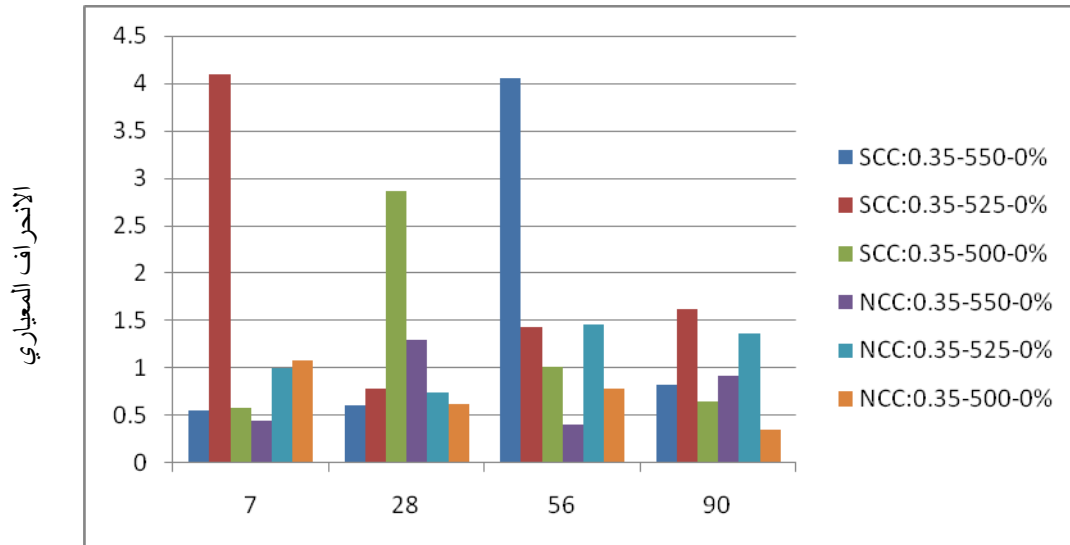


عمر الببتون (يوم)
منحني (4-8) مقاومة الببتون العادي والببتون ذاتي التوضع W/C=0.32

إلا أنه عند مقارنة قيمة الإنحراف المعياري لاحظنا أن قيمة الإنحراف المعياري لخلطات الببتون ذاتي التوضع كانت أعلى منها للببتون العادي ذو النسبة المئوية الإسمنتية المماثلة والتي لا تحوي على أي كمية من السيليكا فيوم.



منحني (4-9) مقارنة الانحراف المعياري للبيبتون العادي وذاتي التوضع W/C=0.32
عمر الببتون (يوم)



منحني (4-10) الانحراف المعياري للبيبتون العادي وذاتي التوضع W/C=0.35
عمر الببتون (يوم)

إن قيمة الانحراف المعياري للبيبتون العادي منحني (4-9) مساوية تقريبا للواحد أو أقل في حين أن قيمة الانحراف المعياري للبيبتون ذاتي التوضع تصل الى 4 نيوتن/مم² وأكثر.

أي أن خلطات البيتون ذاتي التوضع الخالية من السيليكا فيوم تعطي نتائج غير متجانسة وبانحراف معياري أكبر بالمقارنة مع خلطات البيتون التقليدي .

4-6 كلفة البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع:

عند مقارنة كلفة إنتاج البيتون العادي وكلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع وذلك من أجل نفس النسبة المئوية الإسمنتية وعدم إضافة أي كمية من السيليكا فيوم للخلطة لاحظنا أن نسبة كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع الى كلفة إنتاج البيتون العادي تقترب من الواحد.

أي أن كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع تقترب من كلفة إنتاج البيتون العادي وبالتالي إمكانية الاستفادة من خصائص البيتون ذاتي التوضع في عملية التشييد وبكلفة إنتاج مساوية تقريبا للبيتون العادي، إلا أنه عند إضافة السيليكا فيوم ترتفع كلفة إنتاج البيتون ذاتي التوضع وإن هذا الارتفاع بالكلفة يزداد بشكل أكبر كلما ازدادت كميته أكثر في الخلطة إلا أن خواص البيتون ذاتي التوضع ومقاومته تتحسن وتزداد بشكل أكبر.

والجدول التالي يوضح كلفة المواد اللازمة لإنتاج واحدة الحجم من البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع باعتبار أن كميات الحصى والداخلة في إنتاج كلا النوعين متساوية نظرا لاستخدام نفس النسب من المواد عند التصميم.

كلفة المواد (ل.س)			
الإسمنت (طن)	سبيلكا (طن)	ملدن كربوكسيلي (لتر)	ملدن نفتاليني (لتر)
10000	30000	200	80

جدول (4-11) أسعار المواد الداخلة في إنتاج البيتون

Mix(SCC)				Cost of SCC (syrian pound/m ³)				Cost of NCC (syrian pound/m ³)			SCC/NCC
W/(c+s)	C+S(kg/m ³)	Silica%	Super%	Cement	Silica	Super	All	Cement	Super2	All	
0.32	500	10%	0.8	4500	1500	800	6800				
0.32	500	5%	0.8	4750	750	800	6300				
0.32	500	0%	0.8	5000	0	800	5800	5000	720	5720	1.014
0.35	550	10%	0.8	4950	1650	880	7480				
0.35	550	5%	0.8	5225	825	880	6930				
0.35	550	0%	0.8	5500	0	880	6380	5500	572	6072	1.051
0.35	525	10%	0.6	4725	1575	630	6930				
0.35	525	5%	0.6	4987.5	787.5	630	6405				
0.35	525	0%	0.6	5250	0	630	5880	5250	588	5838	1.007
0.35	500	10%	0.6	4500	1500	600	6600				
0.35	500	5%	0.6	4750	750	600	6100				
0.35	500	0%	0.6	5000	0	600	5600	5000	560	5560	1.007

جدول(4-12) كلفة إنتاج البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع

هذا وتجدر الإشارة إلى أنه تم تصميم خلطتين من البيتون ذاتي التوضع باضافة نواتج حرق الفيول بدلا من السيليكافيوم إلى البيتون نظرا لارتفاع سعر السيليكافيوم الأمر الذي ينعكس على سعر البيتون وذلك لعدم توافر مواد أخرى رخيصة كالرماد المتطاير وخبث الحديد في سوريا.

كما ذكرنا سابقا فإن اضافة السيليكافيوم إلى الخلطة يحسن من خواص وتجانس الخلطة لذلك فإن استبدال السيليكافيوم بنواتج حرق الفيول جاء لمعرفة فيما إذا يمكننا تحسين خواص وتجانس البيتون ذاتي التوضع باستخدام مادة أرخص الأمر الذي سينعكس إيجابا على انتشار استخدام هذا النوع من البيتون وكانت النتائج على الشكل التالي جدول (4-13)

W/(C+Fuel)	cement (kg/m ³)	Fuel (kg/m ³)	super (kg/m ³)	7/day (Mpa)	28/day (Mpa)	56/day (Mpa)	90/day (Mpa)	Slump flow(cm)	Passing ability %	Segregation Resistance%
0.29	490	10	8	43.4	50.4	55.3	51.6	69	89	88
0.35	490	10	3	40.5	47.6	47.2	43.6	65	87	86

جدول (4-13) نتائج البيتون ذاتي التوضع باستخدام نواتج حرق الفيول

هذا وقد تم إجراء خلطة من البيتون ذاتي التوضع باستبدال نسبة 5% من الإسمنت بالزبوليت المحلي نظرا لتوافره في سورية ورخص ثمنه، إلا أن هذه الخلطة قد أعطت انفصالا كبيرا وكان قطر الإنتشار منخفض

بالمقارنة مع الخلطات المصممة سابقا وذلك نظرا لكون الزيوليت شره للماء ويزيد متطلبات الخلطة من الماء، وكانت النتائج على الشكل التالي:

W/(C+Zeolite)	Cement (kg/m ³)	Zeolite (kg/m ³)	Super (kg/m ³)	7/day (Mpa)	28/day (Mpa)	56/day (Mpa)	90/day (Mpa)	SF (cm)	PA %	SR %
0.29	475	25	8	45.1	53.3	54.6	54.2	66	88	77

جدول (4-14) البيتون ذاتي التوضع باستخدام الزيوليت

قد يكون من الأفضل زيادة كمية الملدن المستخدمة لزيادة قطر الانتشار، وإضافة معدلات الزوجة للتقليل من قابلية الانفصال.

الفصل الخامس

ضخ البيتون

الفصل الخامس

ضخ البيتون

يستخدم البيتون ذاتي التوضع بشكل شائع هذه الأيام كبديل عن البيتون العادي في جميع المجالات فهو يؤمن الجودة العالية والسرعة في العمل.

فطبقاً لـ Okamura : حيث يستخدم البيتون العادي ، يمكننا استخدام البيتون ذاتي التوضع بشكل أفضل ، أسرع ، أرخص وخاصة للعناصر ذات الأشكال المعقدة والعناصر كثيفة التسليح .

سنقوم في هذا الفصل والفصول اللاحقة بدراسة الجدوى التكنولوجية من إستخدام البيتون ذاتي التوضع في أعمال التشييد وذلك من خلال إجراء مقارنة ما بين البيتون ذاتي التوضع والبيتون العادي من حيث الصب-الضخ-أعمال الانتهاء والتأثيرات البيئية واجراءات الأمن والسلامة بالإضافة إلى ضغط البيتون على الكوفراج.

5-1 ضخ البيتون:

5-1-1 البيتون المضخوخ:

هو ذلك البيتون المنقول عبر خرطوم أو أنابيب باستخدام مضخة (المعهد الأمريكي للبيتون ACI-304.2R).

إن عملية ضخ البيتون تتم عبر أنابيب معدنية خطية عن طريق بسطونات المضخة والتي عرفت عام 1933 في الولايات المتحدة الأمريكية.

لقد طرأ تطور كبير في مجال ضخ البيتون حيث تم استخدام أذرع التطويل بالإضافة إلى خطوط الضخ بضغط عال الأمر الذي ساهم في أن تصبح عملية ضخ البيتون واحدة من أكثر العمليات أهمية في صناعة التشييد.

إن معظم مضخات البيتون تتألف من حوض مستقبل للبيتون receiving hopper

ومن نظام التزويد(الصمامات)والذي يقوم بتوجيه البيتون إلى اسطوانات الضخ ومن أسطوانات الضخ إلى أنابيب الضخ صورة رقم (5-1)،(5-2)



صورة رقم(5-1) توضح حوض الإستقبال في المضخة



صورة رقم(5-2)توضح عملية ضخ البيتون

هذا وتجدر الإشارة الى أن مضخات البيتون تختلف عن بعضها البعض بمايلي:

1- معدل الضخ (Pumping Rate):

ويعبر عن حجم البيتون الذي تستطيع المضخة أن تضخه خلال فترة محددة من الزمن.

2- طول المضخة:

ويعبر عن طول أنابيب الضخ فكلما كانت المضخة أطول أمكننا الصب لمسافات أبعد وارتفاعات أعلى.

3- قطر أنبوب الضخ:

ويحدد المقاس الأعظمي للحصويات التي يمكن ضخها، إن أغلب المضخات يكون قطر أنبوب الضخ حوالي 5 انش أو أكثر.

4- عدد الانحناءات أو المفاصل التي تصل بين أنابيب الضخ . [16]

5-1-2 ضخ البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع:

إن عملية ضخ البيتون هي عملية ذات فعالية عالية وخاصة للبيتون ذاتي التوضع وذلك نظرا لقدرته العالية على الجريان وثباته وعدم الحاجة إلى أي عمليات رج ميكانيكية.

هذا وإن المحتوى العالي من المواد الناعمة في البيتون ذاتي التوضع يجعل عملية ضخ البيتون ذاتي التوضع أكثر فعالية من ضخ البيتون العادي.

فكلما زادت قابلية تشغيل البيتون كانت عملية الضخ أسهل وأسرع ولا تحتاج إلى ضغط عال من المضخة الأمر الذي يقلل من المشاكل التي قد تحدث أثناء صب البيتون.

وكلما كان البيتون ذو قوام جامد كانت عملية الضخ أصعب وأبطئ وتحتاج إلى ضغط عال من المضخة بالمقارنة مع البيتون ذاتي التوضع الأمر الذي يؤدي إلى ظهور المشاكل خلال عملية الصب وخاصة حدوث ظاهرة الإستعصاء في المضخة الأمر الذي يحتاج إلى الوقت لمعالجة هذه الظاهرة.

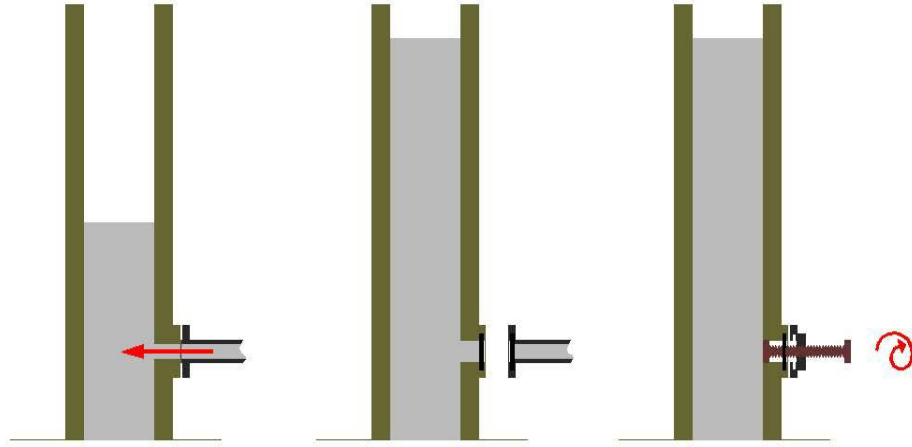
إن عملية ضخ البيتون العادي تتم من الأعلى فقط صورة رقم(3-5) في حين أن البيتون ذاتي التوضع يمكن ضخه من الأعلى ومن الأسفل نظرا لقابليته العالية للتشغيل صورة رقم(4-5)



صورة رقم(3-5) توضح ضخ البيتون من الأعلى



صورة رقم(4-5) توضح ضخ البيتون من الأسفل



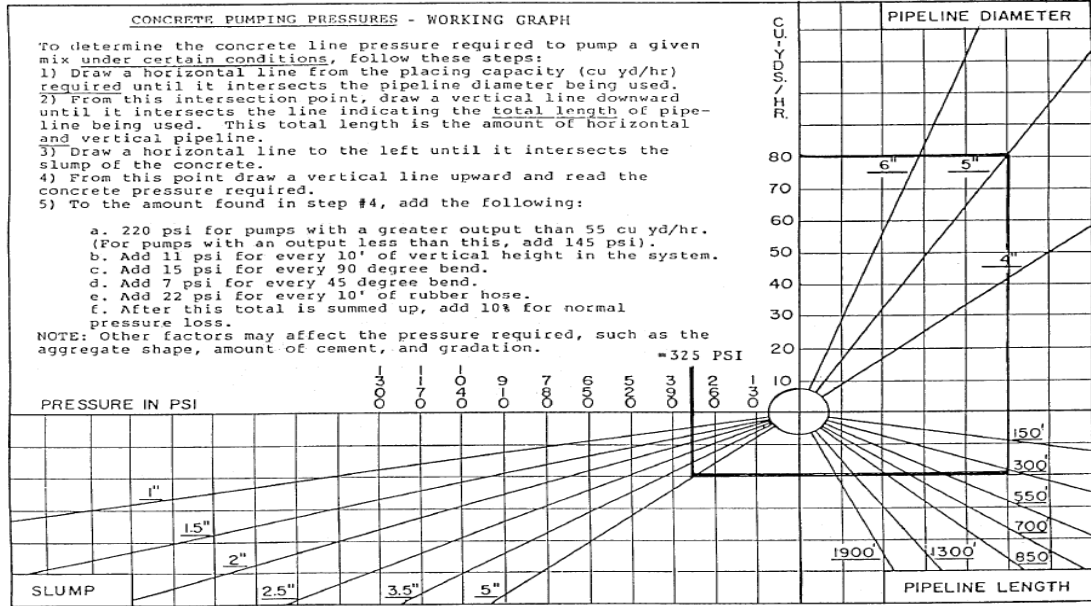
صورة رقم(5-5) توضح كيفية صب البيتون ذاتي التوضع من الأسفل



صورة رقم (5-6) الفتحة التي تم صب البيتون ذاتي التوضع منها بعد إغلاقها

ومن ناحية أخرى ،تظهر أهمية البيتون ذاتي التوضع عند صبه بالمضخة،فالبيتون ذاتي التوضع يتميز بقابليته العالية على التشغيل،فكلما كان البيتون ذو قابلية أعلى على التشغيل كان الضغط اللازم من المضخة لصب البيتون أقل وهذا ينعكس على استطاعة المضخة المستخدمة لصب البيتون.

وكلما كان البيتون جامد القوام ،يزداد الضغط اللازم من المضخة لصب البيتون وهذا يظهر في المخطط التالي (5-7):



صورة (5-7) ضغط المضخة اللازم لصب البيتون

لتحديد خط ضغط البيتون المطلوب لضخ خلطة معينة من البيتون تتبع الخطوات التالية:

- 1- نرسم خط أفقي من محور سعة صب البيتون المطلوب (معدل الصب) حتى يتقاطع مع قطر أنبوب الضخ المستخدم (للمضخة).
- 2- من نقطة التقاطع نرسم خطا شاقوليا نحو الأسفل حتى يتقاطع مع الخط المشير إلى الطول الكلي لأنبوب الضخ المستخدم.
- 3- نرسم خطا أفقيا إلى اليسار حتى يتقاطع مع درجة طراوة البيتون المراد صبه (هبوط البيتون).
- 4- من نقطة التقاطع الأخيرة نرسم خطا شاقوليا إلى الأعلى لمعرفة ضغط البيتون المطلوب.
- 5- يتم إضافة مايلي إلى القيمة التي حصلنا عليها في الخطوة الرابعة:

أ- (1440 kpa) من أجل المضخات بمعدل صب أعلى من 41.8 م³/ساعة

ب- (1015kpa) من أجل المضخات بمعدل صب أقل من ذلك.

ج- (77kpa) عند ارتفاع كل 3م للمنظومة.

د- (105kpa) من أجل كل زاوية انحناء 90 درجة.

هـ- (49kpa) من أجل كل زاوية انحناء 45 درجة.

و- (70 kpa) للأنابيب المطاطية.

ي- بعد الحصول على النتيجة النهائية يتم إضافة 10% كفواقد للضغط. [16,26]

3-1-5 إستعصاء المضخة:

إن هناك العديد من الأسباب التي تؤدي إلى حدوث مايسمى بحادثة إستعصاء المضخة والتي تعبر عن إنغلاق أنابيب الضخ بالبيتون الطازج وتوقف عملية الضخ مؤقتا لحين معالجة هذه الظاهرة وإزالة البيتون الذي أدى إلى هذه الحادثة ونذكر من هذه الأسباب:

1-3-1-5 خلطة البيتون:

إن الاختيار الأمثل للحصويات وتحديد النسب المثلى لها في الخلطة له الأثر الكبير في عدم حدوث هذه الظاهرة. فالخلطات الفقيرة بالرمل والمواد الناعمة تؤدي إلى حدوث النزف مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة الإنفصال الحي وإغلاق أنابيب الضخ.

ومن هنا فإن البيتون ذاتي التوضع يحوي على نسبة عالية من الرمل والمواد الناعمة الذي يمنع حدوث هذه الظاهرة ومن هنا تأتي أهمية مقاومة البيتون ذاتي التوضع لحادثة الإنفصال.

هذا وأن المواد الناعمة يجب أن تؤمن التغليف الكامل للحصويات الخشنة بالمونة الإسمنتية الأمر الذي يخفف من حدوث الإستعصاء.

2-3-1-5 تسريب خطوط الضخ:

إن عدم تأمين الإنغلاق الكامل لمناطق الوصل بين أنابيب الضخ يؤدي إلى تسرب المونة الإسمنتية عبر وصلات أنابيب الضخ الأمر الذي يؤدي إلى مايشبه ظاهرة التعشيش في الأنابيب وإغلاق الأنابيب في منطقة معينة.

5-1-3-3 خطأ المشغل:

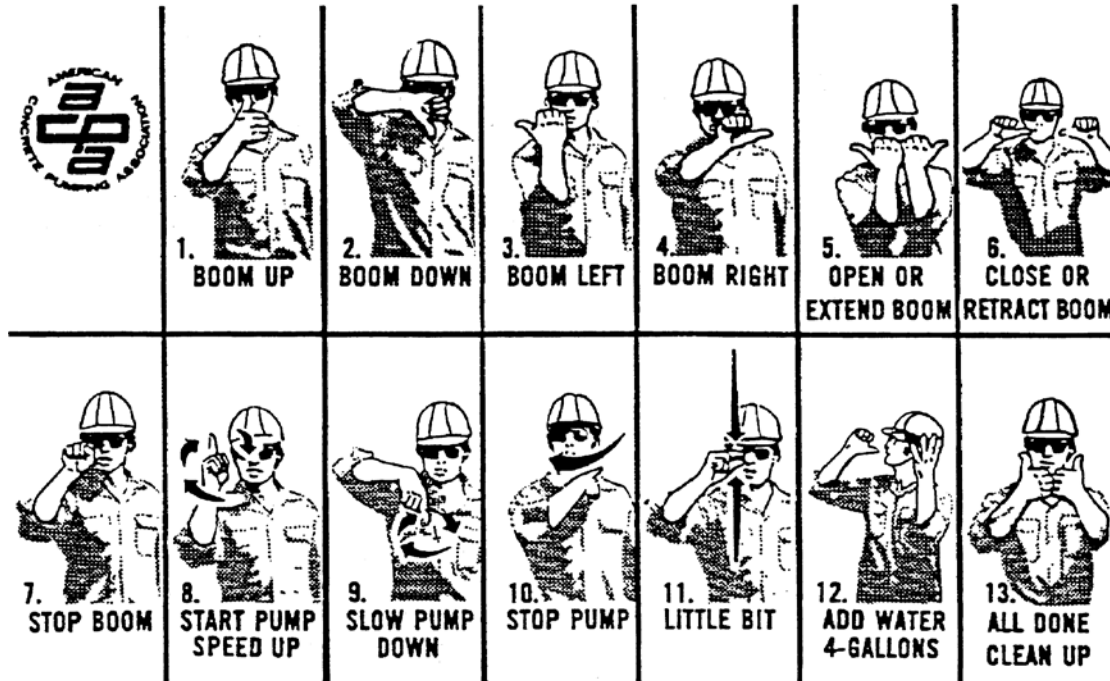
قد تحدث ظاهرة الإستعصاء نتيجة لعدم خبرة مشغل المضخة (الشخص الذي يقوم بالعمل على المضخة) وخاصة في بداية عملية الضخ.

هذا وتلعب خبرة المشغل الأثر الكبير في التقليل من حادثة الإستعصاء. وفي حال حدوث هذه الظاهرة فإن المشغل الخبير يتمكن من تحديد مكان هذا الإستعصاء ومعالجته بسرعة .

5-1-4 الأمن والسلامة أثناء عملية الضخ:

إن الجهل بقواعد الأمن والسلامة والإشارات المستخدمة أثناء عملية الضخ قد تؤدي إلى وقوع حوادث كثيرة في الموقع أثناء عملية الضخ، لذلك كان من الضروري تسليط الضوء على أهم الإشارات المتعارف عليها أثناء عملية الضخ . [16,26]

A.C.P.A. HAND SIGNALS



صورة رقم (5-8) توضح أهم الإشارات المتداولة أثناء عملية ضخ البيتون

5-1-5 حساب ضغط المضخة:

إن الضغط المطلوب من المضخة لصب خلطة معينة من الببتون يتعلق بـ:

1- قابلية تشغيل الببتون (مخروط أبرامز)

2- طول أنبوب الضخ

3- معدل الصب، ووحدة حجمية

4- قطر أنبوب الضخ وغيرها....

في هذا المثال قمنا بحساب استطاعة المضخة اللازمة لصب خلطة من الببتون العادي ذو قابلية تشغيل

(6.25 سم)، (12.5 سم) وذلك إذا كان:

- معدل الصب: 30.6 م³/سا، 61.2 م³/سا

- قطر أنبوب المضخة: (12.5 سم)

- طول أنبوب الضخ: (90 م)

استطاعة المضخة (kpa)	قابلية التشغيل (سم)	طول أنبوب الضخ (م)	قطر أنبوب الضخ (سم)	معدل الصب (م ³ /سا)
1793	6.25	90	12.5	30.6
1076	12.5			61.2
3675	6.25			
2241	12.5			

جدول (5-1) نتائج ضغط المضخة اللازم لصب الببتون

نلاحظ من هذا الجدول مايلي:

1- تزداد الاستطاعة اللازمة من المضخة لضخ الببتون كلما انخفضت قابلية تشغيل الببتون

2- تزداد الاستطاعة اللازمة من المضخة لضخ الببتون كلما ازداد معدل الصب اللازم مع ثبات قابلية التشغيل.

3- تظهر أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع والذي يتميز بقابليته العالية على التشغيل الأمر الذي يخفض من الاستطاعة اللازمة للمضخة مما يخفض من الكلفة اللازمة لتصنيع المحرك وانعكاس ذلك على توفير في كمية الديزل التي يستهلكها المحرك.

5-1-6 ضخ البيتون أثناء تنفيذ برج خليفة- دبي:

إن خلطات البيتون التي تم صبها في برج خليفة كانت تحوي على حوالي 50% من الحصى الناعمة ونسبة استبدال الرمال المتطاير 13-20% بالإضافة إلى سيليكات فيوم 5-10%.

وتم استخدام منتجات شركة BASF كملدنات عالية الأداء.

ضخ البيتون:

قبل البدء بتنفيذ مشروع برج خليفة تم إجراء العديد من التجارب على ضخ البيتون وذلك باستخدام مضخة من نوع

Putzmeister BSA 14000 HP-D

بضغط هيدروليكي 310 بار وبطول 600 متر. صورة رقم (5-9)



صورة رقم (5-9) توضيح أنابيب الضخ

تم اختيار خمس خلطات مختلفة من الببتون وتم قياس خواص الببتون الطازج والمتصلب قبل وبعد الصب وتم اختيار مواصفات المضخات التي تؤمن عملية ضخ الخلطات الخمسة إلى الإرتفاعات المطلوبة.

بعد انتهاء الاختبارات تم اختيار ثلاث أنواع من المضخات:

مضختين من نوع Putzmeistr BSA 14000 SHP-DS

وبضغط هيدروليكي 360 بار.

والمضخة الثالثة من نوع Putzmeister BSA 14000 HP-D

وبضغط هيدروليكي 310 بار

المضخات كانت موصولة إلى أنابيب أقطارها 150 مم، صورة رقم (5-10)



صورة رقم (5-10) توضح المضخات المستخدمة أثناء صب برج دبي



صورة رقم (5-12)



صورة رقم (5-11)

لقد برزت أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع في هذا المشروع بالتخفيض من ضغط المضخة اللازم للصب بالمقارنة مع البيتون العادي و بالتقليل من حدوث ظاهرة الإستعصاء وإنغلاق الأنابيب الأمر الذي انعكس على زمن الضخ وعدم التأخير. [13]

الفصل السادس

صحة البيتون

الفصل السادس

صب البيتون

إن عملية صب البيتون تعتمد بشكل رئيسي على عملية الرج، فإن لم يتم رج البيتون بشكل جيد فقد يؤدي ذلك إلى فراغات هوائية قد تتطور داخل البيتون الأمر الذي ينعكس على مقاومة ومتانة البيتون.

لقد وجد الباحث Hajime Okamura, 1986 أن السبب الرئيسي لضعف متانة البيتون في المنشآت البيتونية في اليابان يعود إلى التوضع غير الجيد للبيتون خلال عملية الصب.

إن إجراء عمليات رج البيتون من قبل عمال متدربين هي عملية جوهرية للوصول إلى بيتون عالي المتانة، وتكمن المشاكل في حال غياب العمالة المدربة .

إن صب البيتون ذاتي التوضع بما يتميز به من خصائص يمكننا من التغلب على المشاكل المتعلقة بانخفاض متانة البيتون الناتجة عن سوء أعمال الرج خاصة في حال غياب العمالة المدربة. [8,19]

6-1 صب البيتون العادي:

إن البيتون الطازج غير المصبوب يحتوي على كميات من الهواء، إذا تم تصلب هذا البيتون بهذه الشروط فإن البيتون المتصلب سيكون مساميا الأمر الذي سينعكس على مقاومة ونفاذية البيتون مما ينعكس سلبا على حديد التسليح، فكان من الضروري تخفيض نسبة الفراغات الموجودة في البيتون عند الصب وهذا لا يتم عادة إلا عن طريق دمك البيتون (رج- طرد مركزي).

إن البيتون الجامد يحتاج إلى جهد كبير للوصول إلى التوضع المناسب، إلا أن استخدام أنواع محددة من الخلائط حسب (ACI212.3R) يخفف من الجهد المطلوب للوصول إلى درجة التوضع المناسبة وذلك لكمية أقل من الماء.

هذا ويوضح الجدول رقم (6-1) تأثير قابلية تشغيل البيتون على عملية الرج والزمن اللازم لها. [19]

وصف البيتون	هبوط المخروط (مم)	زمن الرج (ثانية)	معامل الإكتناز الوسطي
جاف		18-32	
قاسي جدا		10-18	0.7
قاسي	0-25	5-10	0.75
قاسي لدن	25-75	3-5	0.85
لدن	75-125	0-3	0.9
عالي اللدونة	125-190		
عالي الجريان	190 أكثر من		0.95

جدول رقم(1-6) يوضح تأثير قابلية التشغيل على عملية الرج والزمن اللازم لها

نلاحظ من هذا الجدول أنه كلما ازدادت درجة تشغيل البيتون فإن الزمن اللازم لعملية الرج ينخفض ، كما أن متوسط معامل الإكتناز يزداد ويقترب أكثر فأكثر من الواحد ،ومن هنا تأتي أهمية رج البيتون.

خطوات رج البيتون باستخدام الرجاج الداخلي:

- 1- يتم صب البيتون على طبقات.
- 2- في حال الحوائط الكبيرة أو الأساسات الضخمة فإن العمق الأعظمي للطبقة يجب ألا يتجاوز 0.5 متر. العمق يجب أن يكون مساويا لطول إبرة الرجاج أو مقارب لها.
- 3- في حال الجدران والأعمدة يجب ألا يتجاوز عمق الطبقة 0.5 متر .
- 4- يجب أن تكون الطبقات مستوية قدر الإمكان ،حيث لا يستخدم الرجاج لتحريك البيتون الأمر الذي قد يؤدي إلى انفصال البيتون.
- 5- في حال تجمع البيتون على شكل كومة يمكن إدخال الرجاج إلى مركز هذه الكومة مما يؤدي إلى إستوائها.
- 6- المسافة بين كل موضع للرجاج يجب أن يكون مساويا تقريبا(1-1.5)* نصف قطر التأثير.
- 7- يجب أن يتم وضع الرجاج في البيتون بشكل تدريجي ويتم تحريكه إلى الأعلى والأسفل خلال (5-15) ثانية.
- 8- إن حركة الرجاج نحو الأسفل يجب أن تكون سريعة وذلك لتطبيق قوة على البيتون من دورها أن تزيد الضغط الداخلي في البيتون الطازج المتوضع.
- 9- يتم إستخراج الرأس الرجاج بسرعة من البيتون عندما تصبح الإبرة قريبة من السطح العلوي للبيتون.

10- يجب أن يكون العامل الذي يقوم بعملية رج البيتون لديه الخبرة الكافية الأمر الذي ينعكس على جودة البيتون المصبوب وعدم حدوث فراغات ضمن البيتون وطرد أكبر كمية من الهواء المحجوز ضمن الخلطة. [19]



صورة رقم (6-1) توضح كيفية رج البيتون

2-6 صب البيتون ذاتي التوضع:

إن البيتون ذاتي التوضع على خلاف البيتون العادي فهو يتوضع في المكان دون الحاجة الى أي عملية رج ميكانيكي أو إلى التدخل البشري لنشر البيتون.

فالبيتون ذاتي التوضع يجري ويملاً الفراغات دون الحاجة إلى أعمال الرج الميكانيكية، وبالتالي فإن استخدام البيتون ذاتي التوضع يوفر الوقت اللازم لرج البيتون بالإضافة إلى التوفير المتمثل بالعنصر البشري فالحاجة للعمال من أجل رج البيتون وفرشه بالإضافة إلى التوفير في الكلفة المتعلقة باستخدام الرجاج في أعمال الصب.



صورة رقم(6-3) صب البيتون ذاتي التوضع



صورة رقم(6-2) صب البيتون العادي

ففي الصورة(6-2) نلاحظ عملية صب البيتون العادي وعدد العمال اللازمة لصب البيتون في المكان بالإضافة إلى عدد الرجاجات المستخدمة في الصب.

ويظهر في الصورة(6-3) صب البيتون ذاتي التوضع واختصار العمالة اللازمة لصب هذا النوع من البيتون نظرا لعدم الحاجة إلى رج البيتون ذاتي التوضع.

هذا وقد تم إجراء المقارنة ما بين البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع في أحد المشاريع من حيث عدد العمال اللازم لصب كلا النوعين من البيتون والزمن اللازم لإتمام عمليات الصب وانعكاس ذلك على الكلفة وكانت النتائج على الشكل التالي:

البيتون العادي				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة(يورو)
64	4	5	20	800
36	4	3	12	480
100		8	32	1280
				الكلي

البيتون ذاتي التوضع				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة(يورو)
64	4	7	28	1120
36	2	5	10	400
100		12	38	1520
				الكلي

البيتون ذاتي التوضع (نظريا)				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة (يورو)
64	1	3	3	120
36	1	2	2	80
100		5	5	200 الكلي

جدول رقم (6-2) كلفة صب البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع في أحد المشاريع

البيتون العادي				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة (يورو)
25	3	2	6	240
30	3	2	6	240
35.5	3	3.75	11.25	450
36	3	3.25	9.75	390
10	3	1	3	120
5	2	1	2	80
141.5		13	38	1520 الكلي

البيتون ذاتي التوضع				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة (يورو)
25	2	2	4	160
30	2	2	4	160
35.5	2	3.75	7.5	300
36	2	3.25	6.5	260
10	2	1	2	80
5	2	1	2	80
141.5		13	26	1040 الكلي

البيتون ذاتي التوضع (نظريا)				
الكمية م ³	عدد العمال	الزمن	الزمن الكلي	الكلفة (يورو)
25	1	1.25	1.25	50
30	1	1.5	1.5	60
35.5	1	2	2	80
36	1	2	2	80
10	1	0.5	0.5	20
5	1	0.5	0.5	20
141.5		7.75	7.75	310 الكلي

جدول رقم (6-3) كلفة صب البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع في أحد المشاريع

هذا وتجدر الإشارة إلى أن البيتون ذاتي التوضع يؤمن سطوحاً مستوية، وتظهر فعالية استخدام هذا البيتون عند صب الأشكال المعقدة والتي تكثر فيها الزوايا الحادة، فهو يملأ القالب بشكل كامل دون ترك أي فراغات مهما كانت كثافة التسليح. [15,9,10]

3-6 السطوح النهائية:

إن خاصية التشغيل العالية التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع تحسن من السطح النهائي للبيتون بالمقارنة مع البيتون العادي.

فالبيتون العادي وعلى الرغم من أعمال الرج اللازمة للحصول على سطوح نهائية جيدة الجودة إلا أنه في بعض الأحيان نلاحظ ظهور بعض الفراغات السطحية صورة (4-6) وقد يحصل نوع من التعشيش والتي تتطلب من المقاول صرف مبالغ مالية إضافية من أجل المعالجة وإصلاح هذه السطوح، صورة (5-6)



صورة (5-6) أعمال الإصلاح



صورة (4-6) السطح النهائي للبيتون العادي

في حين أن البيتون ذاتي التوضع يأخذ شكل القالب مهما كانت درجة التعقيد دون الحاجة إلى أعمال الرج وينتج عن ذلك سطوح نهائية ملساء ذات جودة عالية. [19,12,14]



صورة (6-6) السطح النهائي للبيتون ذاتي التوضع

6-4 أعمال المعالجة:

إن مصطلح المعالجة غالباً ما يستخدم لوصف العمليات المرافقة لمرحلة التطور التي يمر بها الببتون الطازج حتى الوصول إلى الحالة الصلبة عبر الزمن كنتيجة لإماهة الإسمنت بوجود الماء والحرارة اللازمة لها.

إن الغاية من عملية المعالجة هي تأمين استمرار التفاعل ما بين الإسمنت والماء (الإماهة) حتى الوصول إلى المواصفات المطلوبة من الببتون في الوقت المحدد، ومن هذه الخواص نذكر منها:

المقاومة-معامل المرونة-بالإضافة إلى الخواص المتعلقة بالمتانة كالمسامية ومقاومة التجمد والذوبان وغيرها من الخواص الأخرى.

وهذا لا يتحقق إلا عن طريق الإهتمام بالظروف المحيطة بالببتون كالرطوبة ودرجة الحرارة وغيرها.

ويوضح الجدول رقم (4-6) أرقام المواصفات الخاصة بمعالجة كل نوع من أنواع الببتون.

رقم المواصفة حسب ACI	أنواع الببتون
547.1R	ببتون مقاوم للصرع
523.1R	ببتون عازل
223	ببتون عالي محتوى الإسمنت
207.5R	ببتون رولات
303R	ببتون معماري
506.2	شوت كريت
544.3R	ببتون مسلح بالألياف

جدول رقم (4-6) المواصفات الخاصة بمعالجة أنواع الببتون

-يدخل في تركيب الببتون ذاتي التوضع المواد نفسها الداخلة في تركيب الببتون العادي مع اختلاف في استخدام المددات عالية الأداء الخاصة بالببتون ذاتي التوضع ومعدلات اللزوجة.

كما أن الببتون ذاتي التوضع لا يختلف عن الببتون العادي في العوامل الخارجية المؤثرة عليه من رطوبة ودرجة حرارة وغيرها.

إن عملية معالجة الببتون ذاتي التوضع لا تختلف عن معالجة الببتون العادي فالحماية المبكرة للسطوح الببتونية المكشوفة هي المفتاح لمنع فقدان الرطوبة منها بشكل سريع الأمر الذي قد يؤدي إلى ظهور التشققات وحدوث التقلصات اللدنة وغيرها. [16,18]

6-5 بيئة العمل (working environment):

في إدارة المشاريع بالإضافة إلى الإهتمام بـ (الزمن-الكلفة-الجودة) يتم الإهتمام بأمن وسلامة العمال في الموقع، فالمخاطر التي تواجه العمال في الموقع كثيرة وينبغي تخفيضها وحماية العمال منها وذلك للإستمرار بالعمل على الوتيرة المخطط لها.

إن تعرض العمال إلى المخاطر في مواقع التشييد والناجحة عن بيئة العمل لن تنعكس فقط على العمال بل ستعكس أيضا على أهداف المشروع الأساسية والمتمثلة في الزمن والكلفة والجودة، وبالتالي فإن توفير بيئة العمل المناسبة ستوفر الزمن والكلفة

هنالك عدد كبير من العمال هذه الأيام غير قادرين على الإستمرار بالعمل حتى سن التقاعد، فهم على الأغلب مضطرون للتقاعد باكرا بسبب طبيعة أماكن أعمالهم غير الصحية.

فطبقا لإحدى دراسات جامعة (Danish Technology University (2006) فإن 10% من متوسط العمل اليومي لعمال البيتون هو عبارة عن عمليات صب البيتون (سكب- رج- معالجة).

إن مثل هذا النوع من الأعمال يتطلب غالبا استخدام معدات ثقيلة كالرجاجات من أجل البيتون العادي وغيرها الأمر الذي يجبر العمال على التقاعد قبل فترة من السن المحدد.

باستخدام البيتون ذاتي التوضع يمكننا التغلب على العديد من المشاكل ومن أهمها المشاكل المتعلقة ببيئة العمل وذلك من خلال توفير البيئة المناسبة واللازمة للعمل الأمر الذي يؤدي إلى زيادة في الإنتاجية وتحسينها.

إن المشاكل الصحية ومخاطر السلامة التي تواجه العمال في مواقع التشييد تسبب كلفا إضافية لمشاريع التشييد، وهذه الكلف إما أن تدفع إلى العمال بشكل مباشر أو غير مباشر.

ففي إحدى المشاريع بلغت تكاليف الأمن والسلامة حوالي 8% من الكلفة الكلية للمشروع وذلك حسب (European Agency for Safety and Health at Work 2004).

ومن هنا تأتي أهمية استخدام البيتون ذاتي التوضع في مشاريع التشييد بدلا من البيتون العادي والذي يحتاج إلى رج البيتون حتى نصل إلى درجة الاكتمال المطلوبة.

إن عملية رج البيتون ينتج عنها مستويات عالية من الضجيج عند تشغيل الرجاج للوصول إلى درجة الإكتناز المطلوبة.

هذا وتجدر الإشارة إلى أن (2003) The Council European Communities قد

أخذ بعين الاعتبار الحد الأدنى لمتطلبات الصحة والسلامة لحماية العمال من المخاطر الناتجة عن الضجيج.

كما وتم تحديد المتغيرات الأساسية للضجيج التي تتعلق بها بيئة العمل:

1- شدة أو مستوى الضغط الصوت

تستخدم بشكل شائع عند قياس الضجيج البيئي ويعبر عنها بمقياس لوغاريتمي بوحدة تسمى (dB)الديسيبل .

2- المحتوى الترددي

إن حساسية سمع الإنسان للأصوات تختلف باختلاف تردداتها.

3- التغيرات مع الزمن.

تعريف (LEX, 8h):

مستويات الضجيج اليومية والأسبوعية التي يتعرض لها الانسان نتيجة العمل لزم 8 ساعات يوميا أو زمن عمل أسبوعي (5 أيام) 8 ساعات يوميا.

يوضح الجدول التالي الحدود الدنيا لمستويات الضجيج التي يتعرض لها العمال وذلك حسب بيئة.

العمل السويدية عام 2005 Swedish Arbetsmiljöverket AFS

	Lower limit	Upper limit	Limit value	
Daily exposure level Lex, 8h	80	85	Daily exposure level Lex, 8h	85
Maximum A-adjusted LpAFmax	-	115	Maximum A-adjusted LpAFmax	115
Impulse value	135		Impulse value	135

جدول رقم(5-6) يوضح مستوى الضجيج المسموح بها

هذا وتجدر الإشارة إلى أن هذه القيم تختلف فيما إذا كان العامل يستخدم واقيات السمع أم لا.

فالحدود الدنيا **LEX,8h** هي 80 ديسيبل، فعند ازدياد مستوى الضجيج بين 80-85 ديسيبل كان لابد من استخدام واقبات الأذن.

في حال تجاوز مستوى الضجيج الـ 85 ديسيبل فعندها لابد من اتخاذ اجراءات خاصة. وهذه الاجراءات تتضمن (المعلومات-التعليم- مخطط خاص للعمل-الفحص المنتظم للسمع واستخدام حلول تقنية أخرى مثل استخدام البيتون ذاتي التوضع)

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع يعتبر من إحدى الحلول التقنية المختلفة التي يمكن استخدامها، فعند استخدام البيتون ذاتي التوضع تزول الحاجة لأعمال رج البيتون والتي تصدر مستويات عالية من الضجيج. [3,9,10]

6-5-1 تكاليف الصحة والسلامة:

إن أي شركة من الشركات لها تكاليف مباشرة وأخرى غير مباشرة متعلقة بسلامة وصحة العمال. فالتكاليف المباشرة كالتكاليف الشخصية من رواتب ومغادرات مرضية وتأمينات اجتماعية وغيرها. أما التكاليف غير المباشرة فهي التكاليف المتعلقة بالعمال كالتكاليف الناتجة عن انخفاض الإنتاجية أو التكاليف الناتجة عن سوء الجودة.

- خلال عشرينيات القرن التاسع عشر أجريت دراسات على الحوادث في الشركات Heinrich حيث وجد أن التكاليف غير المباشرة كانت أعلى بأربع مرات من التكاليف المباشرة.

-طبقا للوكالة الأوروبية للصحة والسلامة: (2010) European Agency for Safety and Health at Work

فإن التكاليف غير المباشرة للعمل المتعلق بالأعراض (WMSDs) Work related Muscular Skeletal Disorders العضلية أعلى بحوالي 10-30 مرة من التكاليف المباشرة.

وفي هذا التقرير وجدوا أن التكاليف المقدرة لـ WMSDs للشخص الواحد كان يتراوح بين

6800-11200 يورو، وأن هذه الكلفة ناتجة عن نقصان معدلات الانتاجية وقد تم تقدير انخفاض الانتاجية بحوالي 7%.

-طبقا للوكالة السويدية للتأمين الاجتماعي (Swedish Social Insurance Agency 2004)

لتقدير تكاليف الأذى فإن السبب الرئيسي للمغادرات المرضية ناتج عن آلام الظهر والتي تعادل حوالي 15% من المغادرات المرضية، كما أن 17% من التعويضات هو ناتج عن آلام الظهر.

إن أغلب آلام الظهر والركب والمفاصل التي يعاني منها عمال التشييد ناتج عن أعمال صب البيتون المختلفة والتي تشمل أعمال فرش البيتون وتوضعه في المكان باستخدام الرجاج .

هذا وتجدر الإشارة إلى أن عملية الرج تحتاج إلى عمال مدربين ومهرة للقيام بهذه المهمة، كما أنها تؤدي إلى إجهاد العمال وتسبب آلاما مختلفة سواء في الظهر أو اليدين أو الذراعين أو العنق وغيرها.

توضح الصورة التالية عملية رج البيتون العادي والتي تتطلب الخبرة بالإضافة إلى الجهد والتي تستمر حتى التأكد من وصول البيتون إلى درجة الإكتناز المطلوبة.

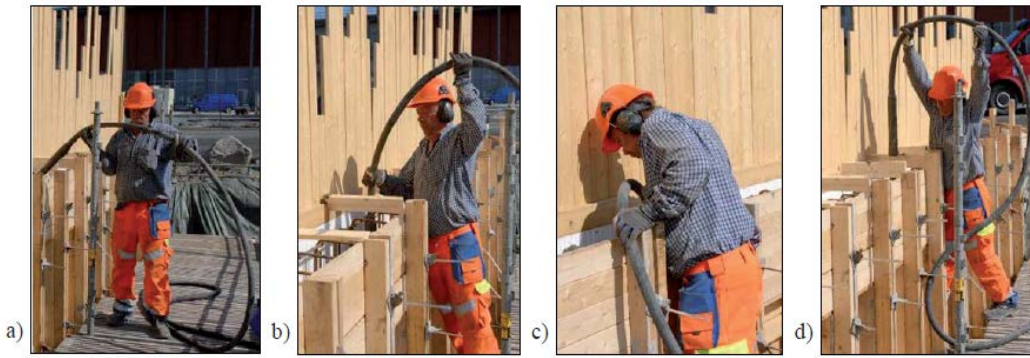


Fig. 1. Work postures when compacting traditional concrete in wall structure. a) Lifting the poker vibrator to the formwork, b) Lowering and/or raising it into/up from the formwork, c) Checking if concrete is vibrated enough, d) Lifting the poker vibrator to the next spot for vibration.

صورة رقم (6-7) توضح مراحل عملية الرج والتي تتطلب الخبرة والجهد العضلي

إن البيتون ذاتي التوضع على خلاف البيتون العادي لا يحتاج إلى أعمال الرج كما أنه يخفف من العمالة اللازمة أثناء الصب وبالتالي يخفف من الكلف الغير مباشرة والناجمة عن سوء الجودة بالإضافة إلى الكلف الناتجة عن الأمراض والجهد العضلي والأمراض المتعلقة بالمفاصل وغيرها.

- لقد قام الآخر Peter Simonsson بدراسة مشروعين استخدم في أحدهما البيتون العادي وفي البيتون ذاتي التوضع تم من خلالهما المقارنة ما بين البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع.

- تمت مقارنة الآلام الناتجة عن صب كل من البيتون العادي والبيتون ذاتي التوضع فوجد أن 38.1% من معامل الخطر يتعلق بالمناطق الخلفية السفلية وبنسبة أقل 36.4% للعنق والكتف والمناطق الخلفية العلوية والأيدي(هذا بالنسبة لصب البلاطة بالبيتون العادي).

أما بالنسبة لصب البيتون ذاتي التوضع فإن معامل المخاطر للعمال كان بنسبة أخفض ما بين 23-25% والجداول التالية توضح ذلك: [3,9,10]

معامل الخطر العضلي،نقطة					
أسفل المؤخرة	الركبة	الأقدام	الأكواع	العنق،الكتف،المؤخرة	
8	2	2	4	9	البيتون العادي
5	2	2	1	4	البيتون ذاتي التوضع
38.1	25	25	36.4	34.6	البيتون العادي %
23.8	25	25	9	15	البيتون ذاتي التوضع %

معامل المخاطر الناتجة عن الجهد العضلي في حال صب البلاطات جدول رقم(6-6)

معامل الخطر البيئي	
7	البيتون العادي
6	البيتون ذاتي التوضع
70	البيتون العادي %
60	البيتون ذاتي التوضع %

معامل الخطر البيئي الناتج عن صب البلاطات جدول رقم(6-7)

معامل الخطر البيئي	
5	البيتون العادي
3	البيتون ذاتي التوضع
50	البيتون العادي %
30	البيتون ذاتي التوضع %

معامل المخاطر الناتجة عن الجهد العضلي في حال صب الجدران جدول رقم(6-8)

معامل الخطر العضلي،نقطة					
أسفل المؤخرة	الركبة	الأقدام	الأكواع	العنق،الكتف،المؤخرة	
8	3	3	5	10	البيتون العادي
3	2	2	1	2	البيتون ذاتي التوضع
40	37.5	37.5	50	40	البيتون العادي %
15	25	25	10	8	البيتون ذاتي التوضع %

معامل الخطر البيئي الناتج عن صب الجدران،جدول رقم(6-9)

الفصل السابع

ضغط البيتون على الكوفراج

الفصل السابع

ضغط البيتون على الكوفراج

إن البيتون ذاتي التوضع يتميز بقابلية الجريان والتوضع تحت تأثير وزنه الذاتي إلا أنه يختلف عن البيتون العادي وذلك بزيادة محتواه من المواد الناعمة الهيدروليكية أو البوزولانية كالإسمنت والسيليكا فيوم وحبث الحديد والرماد المتطاير أو غيرها.

كما أن المحتوى العالي من مخفضات الماء عالية الأداء البولي كربوكسيلية يخفض من اللزوجة اللدنة للبيتون الأمر الذي يؤدي الى قابلية عالية للجريان والملئ في القالب عبر حديد التسليح دون الحاجة إلى أعمال الرج الميكانيكية، مما يؤدي الى ازدياد الضغط الجانبي للبيتون ذاتي التوضع على القالب. [15,20]

7-1 تعريف الكوفراج:

يقصد عموماً بالكوفراج مجموعة القطع والتجهيزات والإكسسوارات (الخشبية أو المعدنية أو البلاستيكية ...) التي تصنع وتركب وفق نماذج وأشكال معينة لتعطي شكل العنصر البيتوني المطلوب صبه.

أما من الناحية الانشائية، فإن القالب يمثل التشكيلات الذي ينقل الحمولات المطبقة عليه (من فترة ما قبل الصب حتى مرحلة اكتساب البيتون المقاومة المطلوبة) إلى العناصر الواقعة أسفل منه. [5,11]



صورة رقم (7-1) تظهر الكوفراج

7-2 العوامل المؤثرة على الضغط الجانبي على الكوفراج:

7-2-1 المواد:

إن محتوى الببتون من الحصويات-النسبة المائبة الإسمنتية-نوع الإسمنت ومحتواه بالإضافة إلى السيليكافيوم وخبث الحديد والرماد المتطاير والمواد المائلة الأخرى-نوع المملدن ومعدلات اللزوجة جميعها تؤثر على الضغط الجانبي.

فالاحتوى الأعلى من الحصويات ومقاسها يخفض من الضغط الجانبي، على العكس تماماً فإن المحتوى العالي من المواد الناعمة (مكونات الملاط) يخفض من قدرة الحصويات على استيعاب الحمولات كما أن الضغط الجانبي يزداد.

هذا وأن إضافة المواد الإسمنتية الثانوية كالسيليكافيوم وخبث الحديد والرماد المتطاير يخفض من قيمة الضغط الجانبي وهذا يعود إلى طبيعة الشيكسوتروبيك للببتون التي تتغير باحتوائه على هذه المواد. [20]

7-2-2 شروط أو ظروف الصب:

إن معدل الصب يعتبر من المتغيرات الأساسية والتي تؤثر على قيمة ضغط الببتون على القالب، فالمعدلات العالية للصب ينتج عنها ضغط جانبي عالي وهذا الضغط قد يكون أعلى من الضغط الهيدروستاتيكي، على عكس معدلات الصب المنخفضة والتي ينتج عنها ضغط منخفض على الكوفراج. هذا وأن طريقة الصب تؤثر بشكل فعال على الضغط الجانبي على الكوفراج، فالببتون المضخوخ من الأسفل يولد ضغط أعلى على القالب من ذلك الببتون المصبوب من الأعلى.

ولما كانت الخصائص الميكانيكية للببتون تتعلق بدرجة الحرارة، فالحرارة الداخلية الأعلى أو حرارة الوسط الأعلى تخفض من الضغط الجانبي. كما أن الزمن اللازم لتصلب الببتون يؤثر بفعالية على الضغط الجانبي، فالببتون الذي يتصلب بزمن أطول يظهر ضغطاً أعلى على الكوفراج. [20,5]

7-2-3 خصائص الكوفراج:

لقد أظهرت بعض الدراسات أن المقاطع الصغيرة تظهر ضغطاً أصغرياً، وهذا وأن وجود حديد التسليح في القالب يساعد نظرياً في خفض الضغط على الكوفراج لأنه يقوم بمسك جزء من أحمال البيتون على الرغم من أن هذا التأثير يكون تافهاً في البيتون ذاتي التوضع.

كما أن نوع القالب المستخدم له تأثيره على الضغط الجانبي على القالب، فالقوالب الملساء يكون الضغط عليها أعلى على عكس القوالب الخشبية. [5,11]

7-2-4 رج البيتون:

إن نوع عملية الرج (يدوية-آلية) وفي حال استخدام الرج الآلي فإن نوع الرجاج وقياس إبرة الرجاج بالإضافة إلى التردد الناتج عن الرجاج كلها تؤثر على قيمة الضغط الجانبي الناتج على القالب، فالضغط الجانبي يزداد بازدياد التردد الناتج عن الرجاج وكلما كانت فاعلية عملية الرج أعلى كان الضغط الجانبي أعلى وذلك نتيجة لزيادة قابلية تشغيل البيتون الناتج، كما أن الزمن اللازم لعملية الرج يؤثر على قيمة الضغط الجانبي الناتج. [20]

7-3 حساب الضغط الجانبي للبيتون على الكوفراج:

7-3-1 الضغط الجانبي للبيتون العادي:

إن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون يختلف باختلاف العنصر المصبوب وأبعاده، بالإضافة إلى مجموعة من المتغيرات نذكر منها مايلي:

- كثافة البيتون

- درجة حرارة البيتون أثناء صبه في المكان

- معدل صب البيتون

- ارتفاع البيتون المصبوب

يتم حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذو قابلية التشغيل 17.5 سم أو أقل وفي حال استخدام الرجاج الداخلي إلى عمق 1.2 م أو أقل حسب العلاقة رقم (7-1):

من أجل الأعمدة:

$$P_{max} = C_w * C_c * [(7.2) + (785/T + 17.8)] \dots \dots \dots (7-1) \text{علاقة}$$

حيث:

P_{max} : الضغط الجانبي الأعظمي (Kpa)

C_w : معامل وحدة الوزن وتحدد قيمته من الجدول (7-1)

C_c : معامل كيميائي وتحدد قيمته من الجدول (7-2)

R : معدل الصب (م/ساعة)

T : درجة الحرارة (درجة مئوية)

من أجل الجدران:

يتم حساب الضغط الجانبي إذا كان معدل الصب لا يتجاوز 2.1 م/سا وارتفاع الصب لا يتجاوز 4.2 م حسب العلاقة رقم (7-1)

إذا كان معدل الصب أقل من 2.1 م/سا ولكن ارتفاع الصب يزيد عن 4.2 م، ومن أجل الجدران بمعدل صب يزيد عن 2.1 م/سا ولا يتجاوز 4.5 م/سا، نستخدم العلاقة رقم (7-2):

$$P_{max} = C_w * C_c * [(7.2) + (1156/T + 17.8) + (244 * R/T + 17.8)] \dots \dots \dots (7-2) \text{علاقة}$$

مع الإنتباه إلى أن قيمة الضغط الجانبي لا تقل عن الهيدروستاتيكي $30C_w$ ولا تزيد عن قيمة الضغط حسب العلاقة (7-3).

من أجل البلاطات:

يتم حساب قيمة الضغط الجانبي حسب العلاقة التالية:

$$P_{max} = 0.02 * dl * W_s$$

حيث:

dl: الحمولة الميتة التصميمية

Ws: عرض البلاطة المتعامد مع حفتها

ملاحظة:

في حال صب البيتون من أسفل القالب فيجب تصميم القالب على قيمة الضغط الهيدروستاتيكي بالإضافة إلى 25% من قيمة الضغط الناتج كضغط إضافي ناتج عن إندفاع البيتون.

كما ويتم تصميم القوالب في حال استخدام الرجاجات السطحية على كامل الضغط الهيدروستاتيكي بالإضافة إلى معامل الأمان. [20]

معامل وحدة الوزن CW	كثافة البيتون
$0.5 * [1 + (w/2320 \text{ kg/m}^3)]$	أقل من 2240 كغ/م ³
1	من 2240 -- 2400 كغ/م ³
$w/2320 \text{ kg/m}^3$	أكثر من 2400 كغ/م ³

جدول (7-1) معامل وحدة الوزن

المعامل الكيميائي Cc	
Cc	نوع الإسمنت
1	نوع I,II,III بدون مؤخر
1.2	نوع I,II,III مع مؤخر
1.2	أنواع أخرى تحتوي على خبث الحديد بنسبة أقل 70% أو 40% من الرماد بدون مؤخر
1.4	أنواع أخرى تحتوي على خبث الحديد بنسبة أقل 70% أو 40% من الرماد المتطاير مع مؤخر
1.4	مواد تحوي على أكثر من 70% خبث الحديد أو 40% من الرماد المتطاير

جدول (7-2) المعامل الكيميائي

7-3-2 ضغط البيتون ذاتي التوضع على الكوفراج:

لقد أوصى المعهد الأمريكي للبيتون بتصميم قوالب البيتون ذاتي التوضع والبيتون عالي التشغيل والذي يتجاوز فيه مخروط أبرامز 17.5 سم، باعتبار قيمة الضغط الجانبي الناتج عن البيتون مساويا للضغط الهيدروستاتيكي وذلك حسب العلاقة التالية. [20]

$$P_{max} = \rho * g * h \dots\dots\dots(7-3)$$

كما أوصى الاتحاد الأوروبي للمقاولين والمنتجين أساس (EFNARC) بتصميم الكوفراج على الارتفاع الهيدروستاتيكي من أجل القوالب التي يزيد ارتفاعها عن 3 م.

إن اعتماد هذه العلاقة سينعكس بشكل كبير على تكاليف التشييد الناتجة عن ارتفاع تكاليف الكوفراج، لذلك تم إجراء العديد من الأبحاث لدراسة الضغط الجانبي على قوالب الأعمدة والجدران الناتجة عن البيتون ذاتي التوضع والبيتون العادي ودراسة جميع المتغيرات التي تؤثر على قيمة الضغط الجانبي (مواصفات المواد-خلطة البيتون-شروط الصب-خواص القوالب). [5]

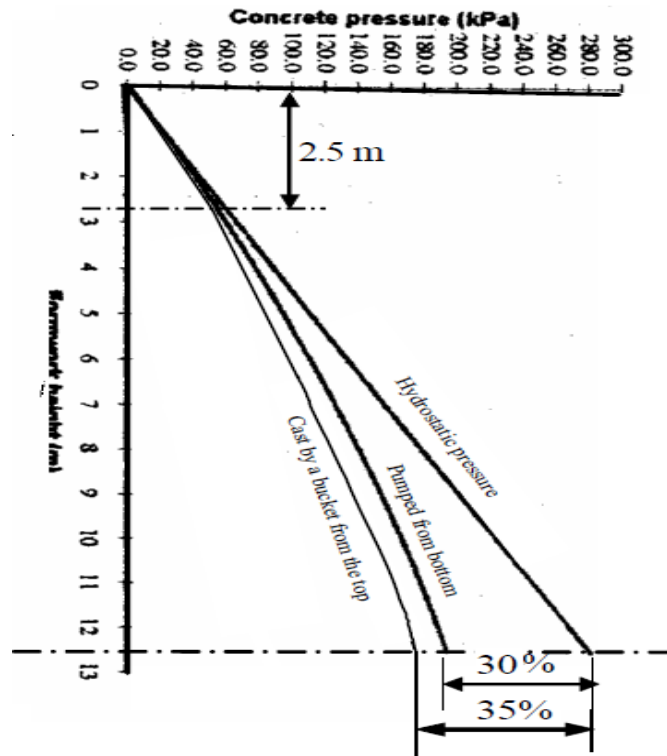
7-3-2-1 بعض الدراسات التي أجريت لقياس الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع

على الكوفراج:

1- نشر المركز الفرنسي لأبحاث البنية التحتية والأبنية عام 1999 نتائج دراسته لتحديد قيمة الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على جدران ذات ارتفاع 12.5 م وتم قياس الضغط على ارتفاعات مختلفة.

قطر انتشار البيتون المستخدم 700 مم، تم صب البيتون من الأعلى بمعدل 18 م/سا وبمعدل 25 م/سا لجدران تم صبها من الأسفل.

لقد وجدوا أن الضغط الجانبي الناتج ليس خطيا وأخفض من الضغط الهيدروستاتيكي بقيمة 30% عند صب البيتون من الأسفل وبقيمة 35% عند صب البيتون من الأعلى وكان مغلف الضغط الجانبي الناتج حسب الشكل (7-1)



شكل (7-1) يظهر مغلف الضغط الجانبي حسب المركز الفرنسي

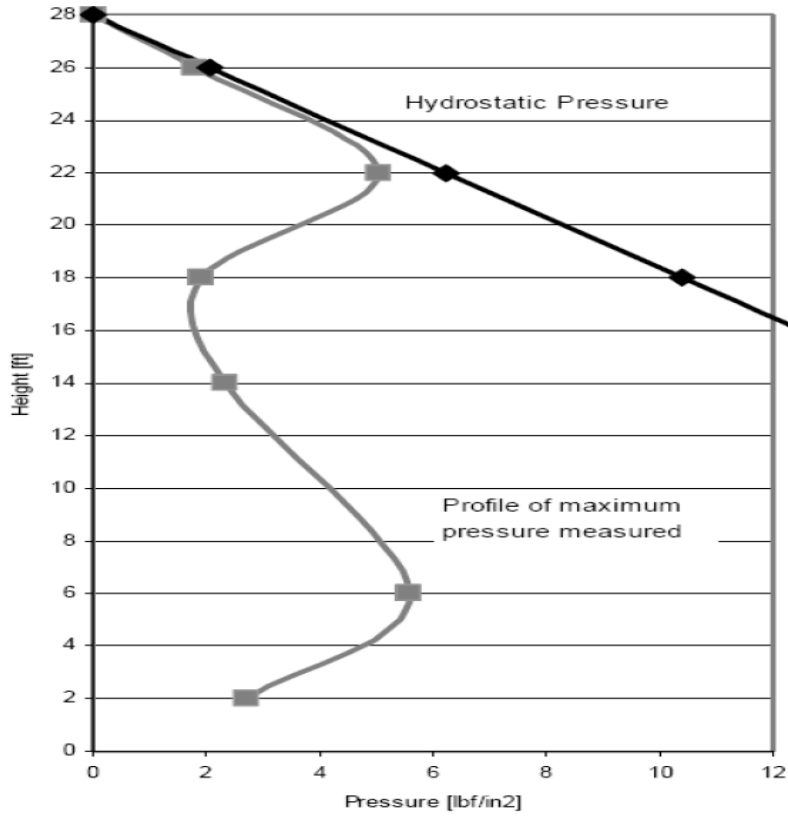
2- دراسات مشابهة تم القيام بها في السويد عام 1999، Skarendahl، وجدوا أن الضغط

الجانبى المتولد عن البيتون ذاتى التوضع المصبوب من أسفل الكوفراج يساوي تقريبا الى نصف القيمة الناتجة عن البيتون العادى المصبوب باستخدام الرجاج الداخلى.

3- قام [2005] Tejeda-Dominguez et al بإجراء تجارب لتحديد قيمة الضغط الجانبى

الناتج عن البيتون ذاتى التوضع وذلك عند صب جدران بارتفاعات مختلفة وبمعدلات صب مختلفة.

إن قيمة الضغط الجانبى الناتج تتراوح بين 23-32% من قيمة الضغط الهيدروستاتيكي، شكل (7-2). [11]



شكل (7-2) يظهر مغلف الضغط حسب Tejeda

7-4 مثال تطبيقي:

في أحد مشاريع التشييد تم حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون العادي على جدار استنادي وتصميم الكوفراج اعتمادا على القوة المطبقة.

تم صب جدار بارتفاع 2.4 م بيتون ذو كثافة 2400 كغ/م³، درجة تشغيله 10 سم ودرجة حرارته 32 درجة مئوية وكان معدل الصب 2.1 م/ساعة 4.2 م/ساعة وذلك باستخدام الرجاج الداخلي.

1- معدل صب البيتون 2.1 م/ساعة:

أ- البيتون العادي:

حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون:

يتم حساب الضغط الجانبي باستخدام العلاقة (1-7).

كثافة البيتون 2400 كغ/م³ ← $C_w=1$

الإسمنت المستخدم صنف I ← $C_c=1$

$$P_{max}=4150\text{kg/m}^2$$

حساب تباعد المورين الشاقولي:

تم استخدام ألواح بلاي فورم 4*8 قدم صنف I سماكة 8/5 انش ←

بلاي فورم، الصنف الأول		
اجهاد القص (psi)	اجهاد الانعطاف (psi)	معامل المرونة (psi)
80	1930	1650000

تحديد تباعد المورين الشاقولي:

يتم تحديد تباعد المورين الشاقولي بتحقيق الشروط الثلاثة التالية :

1- شرط الانحناء أو الانعطاف:

يتم حساب التباعد ما بين ألواح المورين الشاقولي باستخدام العلاقة (7-4):

$$l1 = 10.95 * (Fb * \frac{S}{W})^{0.5} \dots\dots\dots(7-4) \text{ علاقة}$$

2- شرط القص:

يتم تحقيق شرط القص باستخدام العلاقة التالية:

$$l2 = 20 * \frac{Fv \left(\frac{lb}{Q} \right)}{W} + 2d \dots\dots\dots(7-5) \text{ علاقة}$$

3- شرط السهم:

يتم تحقيق شرط السهم باستخدام العلاقة التالية:

$$l3 = 1.69 * \left(\frac{EI}{W} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(7-6) \text{ علاقة}$$

تحديد تباعد المورين الأفقي:



نستخدم مورين أفقي مضاعف 2*4 انش

مورين 4*2 انش		
اجهاد القص (psi)	اجهاد الانعطاف (psi)	معامل المرونة (psi)
120	1810	1700000

تحديد تباعد قضبان الربط:

نحسب الوزن المؤثر على كل قضيب ربط باستخدام العلاقة التالية (7-8):

$$Wt = \frac{Lh}{Lv} * P$$

تباعد المورين وقضبان الربط(سم)			الضغط الجانبي الأعظمي
قضبان الربط(Lt)	الأفقي(Lh)	الشاقلولي(Lv)	كغ/م ² 4150
74.25	69.75	24.75	شرط الانعطاف
45.25	42.25	33.25	شرط القص
97	93.25	26.75	شرط السهم
45.25	42.25	24.75	التباعد الأعظمي(سم)
40	40	22.5	التباعد المستخدم(سم)

جدول(7-3) تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية

ب- البيتون ذاتي التوضع:

- 1- حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع (ضغط هيدروستاتيكي): يتم حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على جدران كوفراج الجدار باستخدام العلاقة رقم (7-3)

تباعد المورين وقضبان الربط(سم)			الضغط الجانبي الأعظمي
قضبان الربط(Lt)	الأفقي(Lh)	الشاقلولي(Lv)	كغ/م ² 5858
68	58.75	20.75	شرط الانعطاف
40.75	35	24.5	شرط القص
91.5	83	23.75	شرط السهم
40.75	35	20.75	التباعد الأعظمي(سم)
32.5	30	20	التباعد المستخدم(سم)

جدول (7-4) تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية

2- حساب ضغط البيتون ذاتي التوضع (المركز الفرنسي لأبحاث البنية التحتية والأبنية):

حسب المركز الفرنسي لأبحاث البنية التحتية والأبنية فإن الضغط الناتج عن البيتون ذاتي التوضع يخفض عن الضغط الهيدروستاتيكي بنسبة 35% في حال صب البيتون من أعلى الكوفراج

$$P_{max}=0.65*5858=3808\text{kg/m}^2 \quad \leftarrow$$

والجدول (5-7) يوضح التباعدات اللازمة لكل من المورين الشاقولي والأفقي وقضبان الربط.

تباعد المورين وقضبان الربط (سم)			الضغط الجانبي الأعظمي
قضبان الربط (Lt)	الأفقي (Lh)	الشاقولي (Lv)	كغ/م ² 3808
79.25	73	25.75	شرط الانعطاف
49	44.25	36	شرط القص
101.25	95.75	27.5	شرط السهم
49	44.25	25.75	التباعد الأعظمي (سم)
47.5	42.5	25	التباعد المستخدم (سم)

جدول (5-7) تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية

2- معدل صب البيتون 4.2م/ساعة:

أ- البيتون العادي:

حساب الضغط الجانبي الناتج عن البيتون:

الجدول (6-7) يوضح الأبعاد المحددة لأجزاء الكوفراج

تباعد المورين وقضبان الربط(سم)			الضغط الجانبي الأعظمي
قضبان الربط(Lt)	الأفقي(Lh)	الشاقلولي(Lv)	كغ/م ² 5213
66.75	62.5	22	شرط الانعطاف
40	37	27.25	شرط القص
90.25	86.25	24.75	شرط السهم
40	37	22	التباعد الأعظمي(سم)
30	35	20	التباعد المستخدم(سم)

جدول (7-6) تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية

ب- البيتون ذاتي التوضع:

كما ذكرنا سابقا فان حساب الضغط الجانبي للبيتون يتم باستخدام علاقة الضغط الهيدروستاتيكي (3-7) ونلاحظ من هذه العلاقة أن معدل الصب ولا حتى درجة حرارة البيتون يؤثران على قيمة الضغط الجانبي الناتج عن البيتون لذلك فإن قيمة الضغط الجانبي الناتج لا تتغير نظرا لعدم تغير الوزن الحجمي للبيتون ولا حتى ارتفاع الجدار المصبوب.

هذا ويمكن تلخيص الحالات المختلفة المدروسة لحساب الضغط الجانبي للبيتون وتناؤها في الجدول (7-7):

تباعد المورين وقضبان الربط(سم)			الضغط الجانبي(كغ/م ²)	نوع البيتون	معدل الصب
قضبان الربط(Lt)	الأفقي(Lh)	الشاقلولي(Lv)			
40	40	22.5	4150	عادي	2.1 م/ساعة
32.5	30	20	5858	ذاتي التوضع	
47.5	42.5	25	3808	ذاتي التوضع*	
30	35	20	5213	عادي	4.2 م/ساعة
32.5	30	20	5858	ذاتي التوضع	
47.5	42.5	25	3808	ذاتي التوضع*	

جدول (7-7) ملخص تصميم الكوفراج بالوحدات الدولية

نلاحظ من الجدول السابق مايلي:

1- إذا كان معدل صب البيتون 2.1م/ساعة، فإن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على كوفراج الجدار (في حال اعتبار الضغط المؤثر هو ضغط هيدروستاتيكي) يكون أعلى من الضغط الناجم عن البيتون العادي الأمر الذي ينعكس على كلفة القوالب اللازمة حيث نحتاج الى عدد أكبر من المورين الشاقولي والأفقي وقضبان الربط وذلك في حال صب البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع صب البيتون العادي.

2- إذا كان معدل صب البيتون 2.1 م/ساعة، فإن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على كوفراج الجدار (في حال اعتماد نتائج المركز الفرنسي لأبحاث البنية التحتية والأبنية) يكون أقل من الضغط الناجم عن البيتون العادي الأمر الذي ينعكس على انخفاض في كلفة الكوفراج في حال صب البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي.

3- إذا كان معدل صب البيتون 4.2 م/ساعة، فإن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون العادي يزداد بالمقارنة مع الضغط الجانبي الناتج عند صب البيتون بمعدل صب 2.1 م/ساعة، في حين أن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع لا يختلف لأنه لا يتعلق بمعدل الصب ومع ذلك تبقى تكاليف الكوفراج للبيتون العادي أقل منه للبيتون ذاتي التوضع في حال حساب الضغط الجانبي للأخير على أساس الضغط الهيدروستاتيكي.

4- إن قيمة الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع في حال اعتماد نتائج المركز الفرنسي وعند معدل صب 4.2م/ساعة تكون أخفض من قيمة الضغط الجانبي الناتج عن البيتون العادي.

5- في حال اعتماد الضغط الجانبي الهيدروستاتيكي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع، فإن فعالية استخدام البيتون ذاتي التوضع فيما يتعلق بالكوفراج تظهر كلما ازداد معدل صب البيتون.

6- إن إزدياد معدل صب البيتون ذاتي التوضع من 2.1م/ساعة الى 4.2م/ساعة، لم تترافق مع ازدياد في متطلبات الكوفراج (في حال اعتماد الضغط الهيدروستاتيكي الكامل)، كما انخفضت متطلبات الكوفراج (عند تخفيض الضغط الجانبي بنسبة من الضغط الهيدروستاتيكي حسب المركز الفرنسي)، إلا أن

الزمن اللازم لصب الكمية ذاتها من البيتون انخفض إلى نصف الزمن الأمر الذي ينعكس على زمن التنفيذ وتخفيض تكاليف العمال وذلك بتقليص عدد ساعات العمل وإمكانية الإستفادة من هذا التوفير في زمن الصب بفك القوالب قبل فترة زمنية معينة.

النتائج والتوصيات

النتائج:

- 1- التوصل إلى إنتاج الببتون ذاتي التوضع وبمقاومة تتجاوز 70 نيوتن/مم² باستخدام المواد المحلية ونسبة مائبة إسمنتية $W/(C+S)=0.29$
- 2- إن اضافة السيليكافيوم إلى خلطات الببتون ذاتي التوضع تحسن من خواصه المتعلقة بالتجانس وقابلية الملئ ومقاومته للانفصال.
- 3- عدم القدرة على إنتاج الببتون العادي بنسبة استخدام $W/C=0.29$ على الرغم من استخدام النسبة العليا من المملدن المسموح بها (حسب إرشادات الشركة المنتجة) وإظهار هذه الخلطة سلوكا بدائيا للببتون ذاتي التوضع.
- 4- الجدوى الإقتصادية من استخدام الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة في أعمال التشييد وذلك من خلال مقارنة كلفة إنتاجه مع كلفة إنتاج الببتون العادي وذلك من أجل بعض الخلطات الغير حاوية على السيليكافيوم.
- 5- الفائدة التكنولوجية من استخدام الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة في أعمال التشييد نظرا لما يتميز به من خواص تسهل الأعمال التكنولوجية المختلفة والمتمثلة بضخ الببتون وصبه في المكان وانتفاء الحاجة لأعمال الرج التي تتطلب الجهد والعمالة الماهرة وانعكاس ذلك على زمن التنفيذ بالمقارنة مع الببتون العادي.
- 6- إن إزدیاد معدل صب الببتون ذاتي التوضع 2.1م/ساعة إلى 4.2م/ساعة، لم تترافق مع إزدیاد في متطلبات الكوفراج (في حال اعتماد الضغط الهيدروستاتيكي الكامل)، كما انخفضت متطلبات الكوفراج (عند تخفيض الضغط الجانبي بنسبة من الضغط الهيدروستاتيكي حسب المركز الفرنسي)، إلا أن الزمن اللازم لصب الكمية ذاتها من الببتون انخفض إلى نصف الزمن الأمر الذي ينعكس على زمن التنفيذ وتخفيض تكاليف العمال وذلك بتقليل عدد ساعات العمل وإمكانية الإستفادة من هذا التوفير في زمن الصب بفك القوالب قبل فترة زمنية معينة.

7- زيادة الضغط الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على الكوفراج في حال حسابه على أساس الضغط الهيدروستاتيكي قد يؤدي إلى الحد من استخدامه في أعمال التنفيذ، إلا أن فعالية استخدامه تزداد بازدياد معدل الصب بالمقارنة مع البيتون العادي حيث تقترب قيمة ضغط البيتون ذاتي التوضع على الكوفراج إلى قيمة الضغط الناتج عن البيتون العادي.

8- إذا كان معدل صب البيتون 2.1 م/ساعة، فإن الضغط الجانبي الناتج عن البيتون ذاتي التوضع على كوفراج الجدار (في حال اعتماد نتائج المركز الفرنسي لأبحاث البنية التحتية والأبنية) يكون أقل من الضغط الناجم عن البيتون العادي الأمر الذي ينعكس على انخفاض في كلفة الكوفراج في حال صب البيتون ذاتي التوضع بالمقارنة مع البيتون العادي.

التوصيات:

1- البحث في إمكانية إنتاج البيتون ذاتي التوضع باستخدام خبث الحديد والرماد المتطاير بدلا من السيليكا فيوم في حال توفره في السوق المحلية وذلك نظرا لخص ثمنها بالمقارنة مع السيليكا فيوم الأمر الذي سينعكس أكثر على كلفة إنتاج هذا البيتون والجدوى الاقتصادية من استخدامه في مشاريع التشييد.

2- البحث في إمكانية إضافة نواتج حرق الفيول أو الزيوليت إلى خلطات البيتون ذاتي التوضع بدلا من السيليكا فيوم وتأثير ذلك على خواص البيتون ذاتي التوضع.

- 1- A.Gurjar, Mixing design and testing of self consolidating concrete using Florida Material,2004.
- 2- A. Hanna, Concrete FormworkSystem,1999.
- 3- F. Jacobs , F. Hunkeler, Ecological Performance of Self Compacting Concrete,2001.
- 4- J. Alderd, Burj Khalifa-a new high for high performance concrete,2010.
- 5- K.Khayat, D. Bonen, S. Shah, P. Taylor, SCC Formwork Pressure,2007.
- 6- K. Turk¹, P. Turgut¹, M. Karatas², A. Benli³ ; Mechanical Properties of Self-compacting Concrete with Silica Fume/Fly Ash,2010.
- 7- Md. Safiuddin , Development of Self-consolidating High Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash,2008.
- 8- Ouchi, Nakamura, Osterson, Hallberg, and Lwin, Application of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States,2003.
- 9- P. Simonsson, Buildability of Concrete Structures *Processes, Methods and Material*,2011.

- 10- P. Simonsson and M. Emborg , Increasing productivity through utilization of new construction techniques and Lean Construction philosophies in civil engineering projects.
- 11- Professor Kamran M. Nemati, Formwork for Concrete,2007
- 12- R. Okrajnov,D. Vasovic, Self compacting concrete and its application in contemporary architecture practice,2009.
- 13- W.Baker, D.Stanton korista and L.Novak,Engineering the world's tallest-Burj Dubai.
- 14- Y. Deng and G. Morcous, Construction Challenges of Cast-In-Place Self-Consolidating Concrete,2011.
- 15-ACI237R07, American concrete Institute, Self consolidating concrete, 2007.
- 16-ACI302.1R-96, American concrete Institute, Guide for concrete floor and slab construction.
- 17-ACI304.2R-96, American concrete Institute, Placing concrete by pumping methods.
- 18-ACI308.1-98, American concrete Institute, Standard specification for curing concrete.
- 19-ACI309R-05, American concrete Institute, Guide for consolidation of concrete.

20-ACI347-04, American concrete Institute, Guide to formwork for concrete.

21- Astm, Standard test Method for bulk density and voids in Aggregates C29.

22- ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field C31.

23- ASTM, Standard specifications for concrete aggregates C33.

24- ASTM, Standard test method for slump of hydraulic –cement concrete C149.

25- ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory C192.

26- BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC, the European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, 2005.

الملاحق

- 1- مواصفات الاسمنت المستخدم في التجارب (1)
- 2- مواصفات السيليكا المستخدمة في التجارب (2)
- 3- مواصفات الملدن البولي كربوكسيل المستخدم في التجارب (3)

الجمهورية العربية السورية
وزارة الصناعة
مركز الأبحاث والأبحاث الصناعية
دمشق - ص.ب ٨٤٥

فاكس : ٦١٣٣٢٨٥ - هاتف : ٦١٣٣٢٦٢ - ٦١٣٣٢٦٣

تقرير مخبري عدد صفحاته /٢/

الجهة المرسله : شركة لافارج للإسمنت (سوريا)
رقم وتاريخ الإرسال : بلا تاريخ : ٢٠١٢/٢/١٤
العينة : أسمنت أسود (CEMII 42.5 N) رقم و تاريخ ورود : ١٢٦٥/د تاريخ : ٢٠١٢/٣/٢٥
الاختبارات المطلوبة : المبينة .
ملاحظة : (تعود النتائج المبينة في هذا التقرير إلى العينة المسلمة) .

- الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية :

الاختبار	النتائج	حدود المواصفة م.ق.س ٢٠٠٨/٣٤١١
زمن بدء الأخذ (بالدقيقة)	١٩٨	≤ 60 دقيقة
زمن نهاية الأخذ (بالدقيقة)	٣٠٧	-
التمدد حسب طريقة لوشاتوليه (مم)	٠	≥ 10 مم
مقاومة الضغط (نيوتن/مم ^٢)	بعمر ٢ يوم	≤ 10
	بعمر ٧ أيام	-
	بعمر ٢٨ يوم	$\leq 42.5, \geq 62.5$
مقاومة الانعطاف (نيوتن/مم ^٢)	بعمر ٢ يوم	-
	بعمر ٧ أيام	-
	بعمر ٢٨ يوم	٨.٥٥

رئيس دائرة مواد البناء

القائم بالاختبار

التقييم :

تدل النتائج المبينة أعلاه مطابقة العينة للأسمنت البورتلاندي (CEM I 42.5 N) من المواصفة القياسية السورية ٢٠٠٨/٣٤١١ من حيث الإختبارات الفيزيائية و الميكانيكية .

مدير الصناعات الهندسية

Product Data Sheet

MixMicrosilica
 Densified Silica Fume

Category: Supplementary Cementitious Materials (SCM's) are finely ground solid materials that are used to replace part of the cement in a concrete mixture. These materials react chemically with hydrating cement to form a modified paste micro structure. In addition to their positive environmental impact, SCM's may improve concrete workability, mechanical properties, and durability. SCM's may possess pozzolanic or latent hydraulic reactivity or a combination of these. The term pozzolan refers to a siliceous material, which, in finely divided form and in the presence of water, will react chemically with calcium hydroxide (CH1) to form cementitious compounds. Pozzolan types can be of natural or industrial origin.

Description	<p> MixMicrosilica is Silica Fume is a finely-divided mineral admixture, available in both uncompacted and compacted forms. It is a pozzolanic material which is composed of highly refined silicon dioxide in the non-crystalline form. Silica Fume will chemically react with the calcium hydroxide released by the hydration of portland cement to form compounds possessing superior cementitious properties. This ultra-fine material will better fill voids between cement particles and result in a very dense concrete with higher compressive strengths and extremely low permeability. Silica Fume is recommended for all types of concrete where improved concrete performance with reduced permeability is required to reduce the effect of chlorides. Silica Fume is also recommended where higher density and ultimate strengths are desired. Silica Fume does not contain calcium chloride or other potentially corrosive materials. </p>
Uses	<p> MixMicrosilica is recommended for use in structural and mass concrete, particularly water-retaining structures such as: </p> <ul style="list-style-type: none"> • Reservoirs and dams • Sewage works • Canals • Culvert tunnels • Interlocking tiles • wherever waterproof concrete is required.
Advantages	<p> MixMicrosilica provides the following properties. </p> <ul style="list-style-type: none"> • Improved workability without increased water content. • Allows easier compaction leading to denser concrete and superior finish • Increased strength and durability • Reduced shrinkage

- Improved water tightness
- Greatly reduces the penetration of water
- Lowers concrete permeability.
- Significantly increases concrete durability.
- Increases ultimate strength gain.
- Beneficial in all types of high strength concrete applications.
- Improves bond strength to steel.
- Significantly reduces alkali-silica reactivity.
- Provides excellent resistance to sulfate or seawater attack.
- Reduces steel corrosion.

Technical Data

Form	Pozzolanic Powder
Color	Light Grey
Density(Loose)	550-700kg/m ³
Chloride Content	NII (according to BS 5075)

ASTM C1240-05 "Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures"

PARAMETER	ASTM C1240	Typical RESULT
SO ₂	Min. 85.0%	Min 92.6
Moisture Content	3.0%	Max 1.09
Loss On Ignition (Includes Carbon)	6.0%	Max 3.0
Alkalis like Na ₂ O		1.2
Al ₂ O ₃		1.16
Fe ₂ O ₃		1.65
CaO		0.24
MgO		1.3
SO ₃		0.32
Accelerated Pozzolanic Activity (7 day)	105	Min 124
% Oversize on 45 µm (typical)	10%	Max 0.67
SG (kg/m ³)		2200
Loose Bulk Density (kg/m ³)		660.2
Specific Surface Area	15-30m ² /g	23

Application

Dosage	5 to 15.0 % by weight of cement normal recommendation.
Dispensing	MixMicrosilica is added in the mix addition sequence to the dry-mix. P.S. Clean all equipments and tools with water immediately after use.
Effect of over dosage	Over dosage of MixMicrosilica causes an increase in water demand and slump loss. Providing it is properly cured the ultimate strength of the concrete will not be adversely affected and will generally be higher than for normal concrete. During this period of over dose the concrete must be kept moist in order to prevent premature drying out.
Compatibility	MixMicrosilica can be combined with other admixtures and other SCM's. For more details please contact our technical department.

Shelf Life	6 months minimum if stored properly in original unopened packing in dry conditions and away from sunlight.
Packaging	Available in Jumbo Bags 900Kg CAS NO.: 69012-64-2
Safety	Refer MSDS for detailed information
Precautions	MixMicrosilica is not a fire or health hazard. Spillages should be cleaned down immediately with water. Seek medical attention without delay. For additional information please contact our technical department.
Environment	Do not dispose of into water or soil but according to local regulations
Toxicity	Non-toxic under the relevant health and safety codes.
Transportation	Non-hazardous.

NOTE: This information contained in this document is given to the best of our knowledge and the results from extensive testing. However, it cannot, under any circumstances be considered as a warranty involving our liability in case of misuse. Tests should be carried out before any use of the product(s) to insure that the methods and conditions of use of the product(s) are satisfactory. Our specialists are ready to answer your inquiries and provide you with needed technical assistance and support. The above data supersedes all previous literatures and can be modified without prior notice. All products are manufactured to comply with our internal quality control programs and systems to ensure consistency and quality.

Product Data Sheet

Mix PC-700RX

High performance new generation superplasticizer
 Advanced polycarboxylate ether based superplasticizer for high performance concrete

Description Mix PC-700RX is a carboxylate polymer blends admixture which is designed to be of high performance concrete. Compared to traditional super-plasticizers, Mix PC-700RX has greater, more powerful dispersing effect without causing retardation. Mix PC-700RX shows powerful advantages being used in the production of more fluid concretes at the lowest w/c ratio-without segregation and bleeding for use in self compacting concrete types. Complies with ASTM C 494 type F , ASTM C-1017 Type I & II Also Satisfying EN Guidelines for SCC Concrete.

Uses Mix PC-700RX has an excellent dispersing effect and is able to maintain the workability of the concrete for longer time. Using Mix PC-700RX is the best choice for SCC, high strength concrete and precast.

- High-performance concrete
- High-strength concrete
- Precast plants
- Self-compacting concrete
- Can be placed and compacted in congested reinforcement
- High rise Structures

Advantages Mix PC-700RX provides the following properties:

- Concrete production at lower temperatures.
- Reduction of setting time and shows early strength on concrete
- Little vibration required
- Higher durability from improved strength
- Self compacting concrete .
- Reduced rate of carbonation of the concrete.
- Compatible with most cement types, Supplementary Cementitious Materials and pozzolans.

Technical Data

Form	Modified Polycarboxylate
Colour	Light Straw brown liquid (Note : Color darkens with age)
Density	1.1 KG/L ± 0.2
pH Value	5.0 to 8.0 (Undiluted)
Viscosity	120 cps (according to Brookfield Viscometer)
Chloride Content	Mix PC-700RX is chloride free

Application

Dosing	0.3-3.0 % by weight of cementitious material. The optimum dosage of Mix PC-700RX may depend on the specific requirements of the concrete properties, materials and applications. Dose levels may be adjusted to suit the job site requirements. The optimum dosage of Mix PC-700RX should be determined by field trials using the materials and conditions. For flowing, high rise performance and self compacting concrete, increased dosages (up to 3.5% by weight of cement) may be used subject to trial mixes.
Dispensing	Mix PC-700RX is a ready to use admixture that is added to the concrete at the time of batching. The maximum effect is achieved after addition 75% of the mix water. For optimum utilization for high water reduction we recommend thorough wet mixing time of minimum 90 seconds ensuring all solid components are wetted. (Never add it to the dry materials)
Compatibility	Mix PC-700RX may be combined with our other products, please consult our technical department for suitable products. Dependant of the mix requirement specification and the job site conditions. Pre-trials are recommended before using the products. Please consult our technical department for assistance. Mix PC-700RX should not be mixed with products that are not compatible, please revert and advise our technical department of any cross contaminations.
Shelf Life	Mix PC-700RX should be stored at temperatures above 3°C. If stored in original unopened containers, out of sunlight, it will have a shelf or board life of 12 months if stored as recommended. If Mix PC-700RX becomes frozen, the properties of Mix PC-700RX can be homogenized by thorough agitation of the completely thawed product.
Packaging	Available in bulk, 1000 liter(Tote/IBC) and in 200 liter drums

Safety

Notes	Wear appropriate Personal Protection for handling bulk liquids: Eye Protection, Hand Protection & Skin protection avoiding any skin contact that may cause for allergy.
Precautions	Mix PC-700RX is not a fire or health hazard. Spillages should be washed down immediately with water. If ingested then seek medical attention without delay. For additional information please contact our technical department or refer to our Material safety data information.
Environment	Do not dispose of into water or soil but dispose according to local regulations
Toxicity	Non-toxic under the relevant health and safety codes.
Transportation	Non-hazardous.

NOTE: This information contained in this document is given to the best of our knowledge and the results from extensive testing. However, it cannot, under any circumstances be considered as a warranty involving our liability in case of misuse. Tests should be carried out before any use of the product(s) to ensure that the methods and conditions of use of the product(s) are satisfactory. Our specialists are ready to answer your inquiries and provide you with needed technical assistance and support. The above data supersedes all previous literatures and can be modified without prior notice.

Product Data Sheet

MIX PC - VMA
 Alkali Swell-able Rheology Modifier

Description	<p>MIX PC - VMA is a high efficiency, liquid admixture designed to assist with the production and control of Self-Consolidating Concrete (SCC) by modifying the rheology of the concrete. This action works by increasing the viscosity and enhancing the thixotropic properties of the concrete while still allowing the concrete to flow without bleeding and segregation of the concrete mix. It may also be used to control the flow, allowing flow reduction at site by a controlled dose added at the site. This VMA is based on unique, modified polymer systems and is manufactured under closely controlled conditions to provide uniform, predictable performance.</p> <p>MIX PC - VMA is supplied as a ready-to-use milky white liquid, one litre weighs approximately 1.02 kg contains no intentionally added chlorides.</p> <p>Suitable for use in tropical and hot climatic conditions.</p>
Uses	<p>MIX PC - VMA included in suitable mix designs</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Self Compacting concrete that flows and compacts around reinforcement without blocking or segregation. 2. Provides enhancement for concrete pump mixes which overcomes poor aggregate grading reduces friction and facilitates placement by pump. 3. Used over a wide dosage range to and produce stabilised very high workability and self-compacting concrete with a range of different concrete materials. 4. Especially suitable for large scale precast applications as it has near-neutral setting time and high early strength, allowing rapid progress to be achieved. 5. Used in anti washout for under water concrete types. 6. Anti segregation in harsh mixes with poor aggregate gradings.
Benefits	<ul style="list-style-type: none"> • Enables concrete and SCC mix flexibility when using less-than-optimal aggregate gradation and in presence of fluctuation of moisture content • Modifies concrete rheological properties for controlled workability • Reduces segregation and bleed • Enhances surface appearance • Easy to dispense liquid admixture • Normal set times • Minimal impact on air entrainment • Contains no iron chlorides or other deleterious materials.
Technical Data	<p>Note : VMA type additives are not a substitute for good mix concrete mix design</p>
Type	Polymer modified Alkali Swell-able Rheology Modifier.
Form	White Emulsion
Specification	Complies with The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use and The Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures For Concrete
Application	<p>Typical for SCC Design Concrete most of the MIX PC - series superplasticiser (approx 75%) is added first. All of MIX PC - VMA is then added. The remainder of the MIX PC - series superplasticiser is then added to suit. After the addition of MIX PC - series, a further mixing cycle of at least 5 minutes is recommended to enable MIX PC - series to efficiently disperse the mix components. RANGE: 50ml-250ml per 100kg cement. (0.05%-0.25% (v/w) by weight of cement) When included at the mix design stage.</p> <p>As with most products of this type, the magnitude of the effect obtained with MIX PC - VMA is governed by the quantity of product used, water-cementitious ratio, and the specific nature of the concrete and its constituent materials. It is necessary, therefore, to assess performance under site conditions using site materials to determine optimum dosage and effect on both plastic and hardened concrete properties, such as Cohesiveness, workability retention, set characteristics, early rate of strength gain, ultimate compressive strength and shrinkage when these are of consequence. As a guide to these trials, MIX PC - VMA is typically used at an addition rate of 390 to 1550 mL/m³ of concrete. Dosage requirements are based on water content in the mix. As water content increases, the MIX PC - VMA requirement will increase. Typical water contents for SCC mixes are 150 to 190 L/m³. At the lower water content, use MIX PC - VMA at the lower dosage range, at higher water content, dosage rates will be higher.</p> <p>When MIX PC - VMA is used for site control of slump flow a dose level range of 0.05% to 0.25% v/w by weight of cement, however a controlled dose level will need to be established to satisfy desired slump flow properties.</p>

Mixing	MIX PC – VMA dosage requirements may also be affected by the mix design, cementitious content, aggregate gradations and SCC application. Use of MIX PC – series super plasticizers is highly recommended for SCC production. Dose level requirements for superplasticizers are typically higher for SCC than for conventional concrete mixes. When producing SCC, admixtures (excluding air entraining admixtures) should be added after the addition of the cementitious material and water. Pre-placement testing and testing when materials or quantities change are recommended to determine the optimum admixture addition rate. Factors that influence optimum addition rate include other concrete mix components, aggregate gradations, form geometry, and reinforcement configurations. Please consult our technical department for assistance with developing mix designs, admixture combinations and SCC production.
Product Performance	<p>Product Advantages</p> <p>Self-Consolidating Concrete produced with MIX PC – VMA and MIX PC super-plasticizers offers the following advantages:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Moisture variation— consistent production of SCC even with normal moisture variation from batch to batch. ➤ Self consolidation—vibration can be eliminated because well designed SCC is highly flow-able and will change shape under its own weight to self level and self consolidate within formwork. ➤ No segregation— Well designed SCC is a flow-able yet highly cohesive material that will not segregate, and has significantly reduced bleeding. ➤ No blocking— Well designed SCC can pass freely through narrow openings and congested reinforcement without aggregate “blocking” behind obstructions that stop the flow of concrete. ➤ Reduced labour and improved productivity through faster and easier concrete placement with no vibration ➤ Improved labour safety, reduced plant noise ➤ Levels and improved work environment ➤ Reduced wear and tear on forms by reduction of intense vibration ➤ Achievement of complete consolidation throughout concrete elements, even in thin walled, highly reinforced units. <p>Overdosing</p> <p>Slight overdosing will increase viscosity and thixotropic properties. The effects of over-dosing are a function of the degree of over-dose. When producing high workability concrete, over-dosing will increase cohesion significantly and may decrease the level of workability/flow. Depending on the extent of the over-dose, an increase in the setting time may also occur, especially in low temperatures and/or when employing sulphate resisting cement or cement replacement materials. In any situation where over-dosing is suspected, a careful inspection of the concrete in its plastic state should be conducted. Particular attention should be paid to consistency and cohesiveness, prior to a decision on the suitability of the concrete for the particular application in question</p>
Concrete Curing	Treat exposed surfaces with Baxel range of Curing Compound or use other approved curing methods such as polyethylene sheeting or wet hessian. Good curing is essential on all exposed surfaces particularly in dry, sunny conditions. Failure to do so will reduce strength and durability. Methods that should be considered are by water ponding, mist spraying, polythene sheet etc., but in all cases these must be maintained for at least 7 days. Keep the concrete ideally above 8°C at all times during application and cure.
Cleaning	Clean equipment and mixer immediately after application with water. Hardened material can only be removed mechanically.
Remarks	<p>-Use VMA products for Rheology modifications to a concrete or cementitious mix only.</p> <p>-Establish proper dose levels for the use intended.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Do not exceed recommended levels of addition. <p>-Ensure formwork is secure and watertight to prevent movement and leaking during placing and curing of concrete.</p> <p>-At high temperatures, use chilled water for mixing to keep the mix temperature below 32°C.</p> <p>-Depending on requirements and site condition, the addition at site should be at controlled dose levels to achieve desired concrete properties.</p> <p>-EN Guidelines for SCC and VMA modified concretes are recommended for best practice and specification. Concrete rheology modifying admixture</p> <p>For additional information on MIX PC – VMA or other MIX PC series super-plasticizers contact our Technical Services Department.</p>
Compatibility	MIX PC – VMA is intended for use with BAXEL series super-plasticizers and in combination with all air-entraining agents. All applications should be tested prior to use. Each admixture should be added separately into the concrete mix and not come in contact with each other prior to entering the mix. MIX PC – VMA can be used with all type of

MIX PC - VMA

Page 2 of 4

	Portland Cements, including Sulphate Resisting Cements. It is effective in concretes containing pulverised fuel ash, ground granulated blast furnace slag.
Shelf Life	12 months if stored properly in original unopened packing in well covered area shaded from the elements. 6 months in Bulk storage tanks.
Packaging	MIX PC – VMA is available in bulk, in 1000 L totes, 210 L drums, and 20 Lt Jerry Can.
Safety	
Precautions	MIX PC – VMA is not a fire or health hazard. Splashes on the skin should be washed down immediately with soap water. The product contains expansive agents when mixed with water release alkalis that could be harmful to the skin. Avoid breathing of the dust when mixing. This product must be stored in a dry place, free from moisture contact. For additional information please contact our technical department.
Environment	Do not dispose of into water or soil but according to local regulations
Toxicity	Non-toxic under the relevant health and safety codes.
Transportation	Non-hazardous.

NOTE: This information contained in this document is given to the best of our knowledge and the results from extensive testing. However, it cannot, under any circumstances be considered as a warranty involving our liability in case of misuse. Tests should be carried out before any use of the product(s) to insure that the methods and conditions of use of the product(s) are satisfactory. Our specialists are ready to answer your inquiries and provide you with needed technical assistance and support. The above data supersedes all previous literatures and can be modified without prior notice.
All products are manufactured to comply with our internal quality control programs and systems to ensure consistency and quality.

MIX PC - VMA

Page 3 of 4



مواصفات الملدن البولي كربوكسيل المستخدم في التجارب (3)

المصطلحات العلمية

Self Compacting Concrete(SCC)	البيتون ذاتي التوضع
Normal Compacting Concrete(NCC)	البيتون العادي
American Concrete Institute(ACI)	المعهد الأمريكي للبيتون
Pre stressed-Precast Concrete Institute	معهد البيتون مسبق الصنع- مسبق الإجهاد
American Society for Testing and Materials(ASTM)	الجمعية الأمريكية لإختبار المواد
Ground Granulated Blast- Furnance Slag(GGBFS)	خبث الحديد
High-Range Water- Reducing Admixtures(HRWRA)	مخفضات الماء عالية الأداء
Viscosity Modifier Admixtures	خلاطات معدلة اللزوجة
Slump Flow(SF)	قطر الإنتشار
Passing Ability(PA)	قابلية المرور
Segregation Resistance(SR)	مقاومة الانفصال
T500	الزمن اللازم لانتشار البيتون بقطر 500 مم
Visual Stability Index(VSI)	مؤشر الثبات المرئي
Supplementary Cement Material(SCM)	مواد إسمنتية ثانوية
Cement(c)	إسمنت
Silica(S)	سيليكاً
Coarse Aggregate(C.Agg)	حصويات خشنة
Fine Aggregate(F.Agg)	حصويات ناعمة
Water Cement Ratio(W/C)	النسبة المئوية الإسمنتية

Super plasticizer(SP)	ملدن
Crushed Sand(Cr.sand)	رمل كسر
Natural Sand(Nat.sand)	رمل مزار
Work Related Muscular Skeletal Disorders(WMSDS)	

العمل المتعلق بالأعراض العضلية

Damascus University

Civil Engineering Faculty

Department of Construction and Project Management

**Technology of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete
(SCC) by Using Local Materials and Its Importance in Construction
Industry**

Prepared by:

Eng:Salahidin Adnan Al-Hariri

Supervised by:

Dr.Eng.Mofeed Alaeed

