مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

تأثيراستخدام الفيلر على الخصائص الريولوجية للبيتون ذاتي الارتصاص

الدكتور علي خيربك*

(تاريخ الإيداع 16 / 11 / 2011. قُبِل للنشر في 18/ 3 / 2012)

□ ملخّص □

تهدف الأبحاث العلمية المستمرة على البيتون إلى تطوير أدائه في المنشآت لتأمين المقاومات العالية التي ستضمن ديمومةً أطول و أماناً أكبر. و بالتوازي مع أبحاث تطوير الأداء، تُجرى أبحاث أخرى لتحسين مواصفات البيتون في حالته الطرية، وهو ما ينعكس إيجاباً على الإنتاجية، و جودة السطوح، وتجانس، وكلفة البيتون المنتج.

يشكل البيتون ذاتي الارتصاص أحد أهم الأنواع الحديثة في عالم البيتون غير التقليدي، وتتيح مواصفات خلطته في الحالة الطرية الحصول على مادة متجانسة، مستوية السطوح، لاتحتاج للرج أثناء الصب، وبمردودية إنتاج عالية دون المساس بالمواصفات الميكانيكية التي تقتضيها المتطلبات الإنشائية.

يدرس هذا البحث هذا البحث تأثير استخدام الفيلر على مواصفات البيتون ذاتي الارتصاص كبديل للرماد المتطاير، وهباب السيليس، وباستخدام عيار عالٍ نسبياً من الإسمنت لتأمين اللزوجة الكافية لضمان عدم حدوث ظاهرة انفصال الحصويات، وتأمين الانسيابية، والجريان المناسب ضمن القالب.

تدل النتائج التي تم الحصول عليها على إمكانية محدودة للاستغناء عن الإضافات الناعمة غير المتوافرة محلياً كالرماد المتطاير، وهباب السيليس، واستبدالها بالفيلر. وتدل نتائج استخدامه على إمكانية تحقيق معايير البيتون ذاتي الارتصاص مع تسجيل حدود لقيم المقاومة نحتاج لتجاوزها إضافات أخرى كهباب السيليس مثلاً.

الكلمات المفتاحية : البيتون– البيتون ذاتي الارتصاص– العلبة L (L–Box)– اختبار الانبساط– الاستقرار في المنخل– اللزوجة– الفيلر– انفصال الحصويات، الجريان.

*أستاذ مساعد في قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (34) العدد (2) 2012
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (34) No. (2) 2012

L'influence de l'utilisation du filler sur les performances rheologique du Béton Auto-Plaçant

Dr. Ali Kheirbek*

(Déposé le 10 / 12 / 2011 . Accepté 7/7/2012)

□ Résumé □

Les travaux de recherche sur le béton ont pour but d'améliorer les performances mécaniques assurant à leur tour une durabilité meilleure. En parallèle, d'autre recherches sur le béton visent les caractéristiques à l'état frais afin d'améliorer la productivité, l'état des surfaces et le cout de production.
Le Béton Auto-Plaçant BAP a permis récemment l'obtention de nouvelles performances des bétons comme l'homogénéité, la qualité des surfaces, l'écoulement rapide et la bonne productivité.
Nous avons étudié dans cet article l'effet de l'utilisation du filler à la place de cendre volante et de fumée de silice sur les performances des Bétons Auto-Plaçant, en utilisant des dosages élevées du ciment afin d'assurer l'écoulement dans le coffrage, et empêcher la ségrégation.
Les résultats obtenus sur des formulations expérimentales du béton montrent qu'il est possible de fabriquer un BAP en utilisant le filler seul comme ajout, en notant que pour atteindre des résistances plus élevées, l'utilisation de la fumée de silice devient indispensable.

Mots clés :

Le béton, Béton Auto-Plaçant BAP, L-Box, l'essai d'étalement, l'essai de stabilité, la viscosité, le filler, la ségrégation, l'écoulement.

***Assistant Professor – Department Of Construction Engineering and Management – Tishreen University – Lattakia- Syria**

مقدمة:

تدل الدراسات الإحصائية المرتبطة بالتوسع العمراني، وتطور البناء على حجوم هائلة من البيتون المصبوب سنوياً في العالم، إذ تتجاوز هذه الكمية ستة مليارات متراً مكعباً على امتداد العالم، ون هو ما يمثل متراً مكعباً لكل نسمة سنوياً.

يشكل هذا الحجم الكبير انتشاراً متزايداً لاستخدام هذه المادة، وهو ما ترافَقَ بأبحاث علميةٍ مستمرةٍ تهدف لتطوير أداء البيتون، وإطالة عمر المنشآت المبنية باستخدامه مع تحقيق متطلبات السلامة والأمان.

يُستخدم البيتون التقليدي في سوريا على نطاق واسع تقل معه حالاتُ استخدام الإضافاتِ المحسنة للأداء في الحالتين الطرية والصلبة، وعند تحليل حالات استخدام الإضافات المحسنة، نجد أنَّ الهدفَ منها في معظم الأحيان هو رفع المقاومة الميكانيكية للبيتون، و تحسين خصائصه المرتبطة مباشرةً بهذه المقاومة، كالحد من تغلغل المواد المخربة، و مقاومة الكربنة، و التغيرات المناخية القاسية كحلقات الصقيع و الذوبان و التسخين و التبريد بفعل حرارة الجو، و هو ما سيُكسب البيتون ديمومةً وأماناً يُعدّان من أهم متطلبات البناء.

وبالتوازي مع الأبحاث العلمية الهادفة للوصول بالبيتون باستخدام بعض الإضافات المحسنة إلى أداء أفضل من حيث الصلابة و الديمومة [1]،.تُجرى أبحاثٌ أخرى تهدفُ إلى تحسين أداء البيتون في حالته الطرية بحثاً عن سهولة الصبِّ، و رفع الإنتاجية، وتحسين النوعيةِ من حيث المظهر و البنية.

يتناولُ هذا البحث أحدَ الأنواع الحديثة غير التقليدية للبيتون، و الذي ظهر حديثاً في عالم البناء، واستخدم في اليابان و أمريكا و أوروبا بعد أنْ أظهرتِ الأبحاثُ جدوى استخدامِه، وهو **البيتون ذاتي الارتصاص (Béton Auto–Plaçant BAP بالفرنسية، وSelf Compacting Concrete SCC بالإنكليزية)**. تُشير هذه التسمية إلى بيتون لا يحتاج إلى رج ليأخذ مكانه في القالب، بإمكانه الجريان بتأثير وزنه الذاتي و إلى مسافات بعيدةٍ قد تتجاوز عشرة أمتار، قادرٍ على ملء القالب بشكل كامل و بارتصاص مثالي، ويمكنه الجريان عبر شبكة التسليح و لو كانت كثيفةً. تدل هذه الخصائص مجتمعةً على مادةٍ سهلةِ الصبِّ، و تحققُ و فراً واضحاً في الجهد و الزَّمن.

بدأ التفكير باستخدام أنواع البيتون التي لا تتطلَّب رجاً كبيراً في أوروبا منذ أوائل السبعينات، و ساعدت الملدنات مخفضات الماء، والملدنات عالية الأداء على القيام بهذا الدور، ولم تظهر فكرة البيتون ذاتي الارتصاص حتى أواخر الثمانينات في اليابان من خلال الأبحاث التي قام بها الباحث Okamura في جامعة طوكيو [2] و التي آلت إلى ظهور أول جيل من هذا البيتون، والذي سمي آنذاك **Super Workable Concrete SWC**. أما في أوروبا، فلم تنطلق هذه الأبحاث بشكل جدي حتى منتصف التسعينات، ليبدأ بعدها استخدامه في مشاريع البناء في أوروبا كالسويد وفرنسا وألمانيا.

يمنحُ استخدام البيتون ذاتي الارتصاص مزايا متنوعة، وفي مجالات مختلفة. فمن **<u>الناحية التقنية</u>** يمكن رصد الإيجابيات التالية [3] :

- السهولة الكبيرة في الصب بفضل الميوعة العالية .
- انعدام الحاجة لعمليات الرج .
- إمكانية الضخ بالشكل المثالي .
- إمكانية تنفيذ العناصر البيتونية بأشكال هندسية معقدة و بسماكات ضعيفة (المنشآت القشرية) .
- إمكانية تنفيذ العناصر البيتونية ذات المقاطع كثيفة التسليح .

- إمكانية صب عناصر بيتونية بارتفاعات عالية.
- ضمان تغليف التسليح بشكل كامل.
- ضمان الحصول على نهايات متقنةٍ، وسطوح ملساء، وشكل جمالي مميز للعناصر المصبوبة .
- المحافظة على أداء، ومواصفات ميكانيكية مقبولة للبيتون مع إمكانية تحسينها.

أما من الناحية الاقتصادية فيمكن رصد الإيجابيات التالية :

- التوفيرُ في كلفة الصب من خلال تخفيض زمن الصب، وعدم الحاجة إلى عمليات الرج.
- التوفيرُ في كلفة التجهيزات من حيث إطالة عمر القالب، وإلغاء الرجاج، وعمليات صيانته، وإصلاحه .
- الدخولُ في منافسةٍ جدية مع مواد البناء الأخرى كالمعادن، والخشب واللدائن، وغيرها.

تصميم خلطات البيتون ذاتي الارتصاص:

تتشابه طرق تصميم خلطات البيتون ذاتي الارتصاص، والبيتون التقليدي عموماً مع مراعاة بعض المتطلبات **التصميمية الخاصة و التي يجب أن تقود التصميم إلى :**

- بيتون بقوام مائع سهل الجريان و الضخ .
- بيتون لا يعاني من انفصال الحصويات و طفو الماء على السطح .
- بيتون بمواصفات ميكانيكية مقبولة تسمح باستخدامه في المنشآت المدنية المختلفة.

و لتأمين هذه الخصائص، يجب إدخال بعض التعديلات على التصميم لتحقيق هذه المتطلبات. يمكن تلخيص هذه التعديلات بالنقاط التالية [4] :

- استخدام ملدنات عالية الأداء لتأمين قابلية التشغيل اللازمة .
- استخدام كمية كبيرة من المواد الناعمة (إسمنت – فيلر – رماد متطاير – هباب سيليس) لزيادة حجم العجينة الرابطة، وإضافات رافعة للزوجة، وقطر أعظمي للحصويات لا يزيد عن 20mm للحد من انفصال الحصويات، وطفو الماء على سطح البيتون .
- الاختيار الجيد للإسمنت و الملِّدن، والمعايرة الدقيقة لنسبة الماء إلى الرابط (W/L) لضمان المواصفات الميكانيكية الجيدة للبيتون المتصلب.
- نشير هنا إلى أنه لا بد من إجراء سلسلة من التجارب، والمحاولات لتحقيق شروط المطابقة اللازمة للوصول إلى التركيب الصحيح باستخدام إحضارات محددة.

اختبارات توصيف، ومطابقة البيتون ذاتي الارتصاص BAP:

تهدف هذه الاختبارات إلى التحقق من الوصول إلى بيتون مائع و لزج بالقدر الكافي لضمان عدم حدوث انفصال الحصويات. أما الاختبارات الواجب إجراؤها، والتي يحددها الدليل الأوروبي للبيتون ذاتي الارتصاص [5] للتحقق من الحصول على BAP فهي :

1- اختبار الانبساط (Teste d'étalement) : وهو الاختبار المكافئ للهبوط بالنسبة للبيتون التقليدي (هبوط مخروط أبرامز)، مع ملاحظة أن القياس في هذه الحالة يكون لوسطي قطر دائرة الانبساط باتجاهين متعامدين بعد استقرارها على طاولة الانبساط الخاصة بالاختبار.

أما القيم المقبولة التي تحددها الاشتراطات الأوروبية لهذا الاختبار، والتي تُعدّ شرطاً لإطلاق تسمية ذاتي الارتصاص على البيتون فهي :

$$700mm \geq D_m \geq 600mm$$

حيث D_m القطر الوسطي للانبساط :

$$D_m = (D_1 + D_2)/2$$

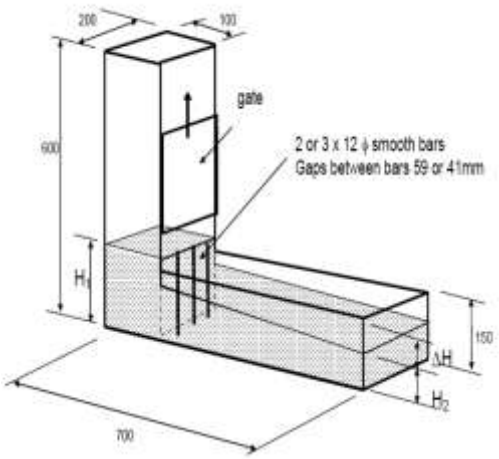
2- اختبار الجريان (Teste d'écoulement) : وهو الاختبار الذي يُعبِّر عن قدرة البيتون على الجريان بشكل متجانس، وبسرعة كافية على سطح أفقي، ومن خلال شبكة التسليح.

يتم ذلك من خلال إملاء الجزء الشاقولي من العلبة L (L–Box) بالبيتون الطري و فتح البوابة بعد الإملاء ليتم الجريان ضمن الجزء الأفقي من العلبة خلال قضبان التسليح الثلاثة المثبتة خلف البوابة.

يُقاس بعدها ارتفاع البيتون في بداية و نهاية العلبة (H_1 و H_2 على الترتيب) لتُحسب النسبة (H_2/H_1) للتحقق من المعيار الثاني.

يبين الشكل (1) النموذج المُصنَّع محلياً من العلبة L (L–Box) من مادة البليكسيغلاس (Plexiglas) و باستخدام القص الليزري عالي الدقة.

b- العلبة (L Box) المصممة و المصنعة محلياً



a- أبعاد العلبة L

الشكل (1) : أبعاد و تفاصيل العلبة L (L Box) اللازمة لاختبار الجريان

أما القيم المقبولة التي تحددها الاشتراطات الأوروبية لهذا الاختبار، والتي تُعدّ شرطاً لإطلاق تسمية ذاتي الارتصاص على البيتون فهي :

$$H_2/H_1 \geq 80\%$$

3- اختبار الاستقرار في المنخل (Stabilité au tamis) : وهو الاختبار الذي يقيس قابلية البيتون الطري للانفصال (Ségrégation). يتمُّ ذلك بقياس النسبة الوزنية للملاط المار عبر فتحات المنخل رقم 4 (ذي الفتحة 4.75 مم) إلى القعر الموضوع تحته، وذلك بعد صب وزن محدد من البيتون في المنخل من ارتفاع قدره (50 ± 5cm).

يبين الجدول (1) القيم التي تحدد قابلية البيتون لانفصال الحصويات وفق الاشتراطات الأوروبية لهذا الاختبار

الجدول (1) استقرار البيتون بحسب قيمة الملاط المار π

النسبة الوزنية للملاط المار من المنخل رقم 4	وصف استقرار البيتون في المنخل
$15\% \geq \pi \geq 0\%$	استقرار مقبول
$30\% \geq \pi > 15\%$	استقرار حرج (حدي)
$\pi > 30\%$	استقرار مرفوض (انفصال مؤكد للحصويات)

4- اختبار طفو الماء على السطح (Mesure de Ressuage) : وهو الاختبار الذي يقيس قابلية البيتون الطري لصعود كمية من الماء إلى سطحه (Ressuage). يتم ذلك بقياس النسبة الوزنية للماء الذي يطفو على سطح عينة اسطوانية من البيتون الطري بأبعاد 15×30cm بعد ثلاث ساعات من الصَّب.

وللحصول على بيتون جيد من حيث طفو الماء على السطح، تحدد الاشتراطات الأوروبية قيمة عظمى لا يُسمَح بتجاوزها للطفو و قدرها 3‰ (من حجم العينة الكلي).

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث لدراسة تأثير استخدام إحدى الإضافات الصلبة الناعمة المنتجة محلياً كالفيلر على مواصفات البيتون ذاتي الارتصاص، حيث تعمل هذه المواد على زيادة حجم العجينة الإسمنتية ضمن بنية البيتون ذاتي الارتصاص، وتأمين لزوجة كافية تسمح بجريان البيتون، و تمنع انفصال حصوياته، وطفو الماء على سطحه.

تُستخدم لهذا الغرض عادةً المواد الناعمة [6] كالرماد المتطاير (Cendre Volante)، و هباب السيليس (Fumée de Silice)، وعيار عالٍ نسبياً من الإسمنت ($C \geq 350Kg/m3$)، وكبديلٍ عن هذه المواد، استُخدم في البحث الفيلر الكلسي (Filler Calcaire) المطحون (مطحون الحجر الكلسي القاسي) و الذي تصل نعومته لدرجة قريبة من نعومة الإسمنت ($2100\ cm^2/g$).

وكمرحلةٍ أولى، تم البحث عن خلطات من البيتون ذاتي الارتصاص تحقق المعايير الخاصة بهذا البيتون باستخدام المواد المحلية و بمقاومات لا تقل عن $200Kg/cm^2$، وهو ما أمكن تحقيقه دون استخدام الإضافات غير المتوفرة محلياً كالرماد المتطاير(Cendre Volante) وهباب السيليس (Fumée de Silice).

تجدر الإشارة هنا إلى أنه بالإمكان بعد التحقق من إمكانية استخدام الفيلر كإضافة بديلة للحصول على بيتون ذاتي الارتصاص البحث لاحقاً عن وسائل أخرى للوصول بالمقاومة إلى قيم أعلى تسمح بالحصول على البيتون ذاتي الارتصاص عالي المقاومة.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التجريبية في إجراء البحث من خلال تحضير عدد كبير من الخلطات أجريت عليها اختبارات المطابقة اللازمة الخاصة بالبيتون ذاتي الارتصاص، والتي كانت تقود بعد كل اختبار إلى تعديل نسب الخلط بما يتوافق مع القيم المطلوبة بكل اختبار مطابقة، كتعديل نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) عندما لا يتحقق اختبار

الجريان في العلبة L (L–Box)، وزيادة النواعم عندما يحصل انفصال الحصويات، و تخفيض نسبة الماء إلى الإسمنت عندما يتجاوز الطفو القيم المسموحة.

بعد تحقيق اختبارات المطابقة، تم صب عينات من البيتون الناتج، للتحقق من تجانسه ومقاومته الميكانيكية بعد التصلب لتحديد نقاط تحسين الخلطة الممكنة و رفع أداء البيتون بعد تصلبه.

لا بد من الإشارة هنا إلى أن البحث قد تم على أنواع محددة من الإحضارات المحلية لدراسة قابليتها للاستخدام في خلطات البيتون ذاتي الارتصاص، ومن الضروري المرور بالمراحل نفسها عند استخدام مواد مختلفة المصدر و التركيب و المواصفات.

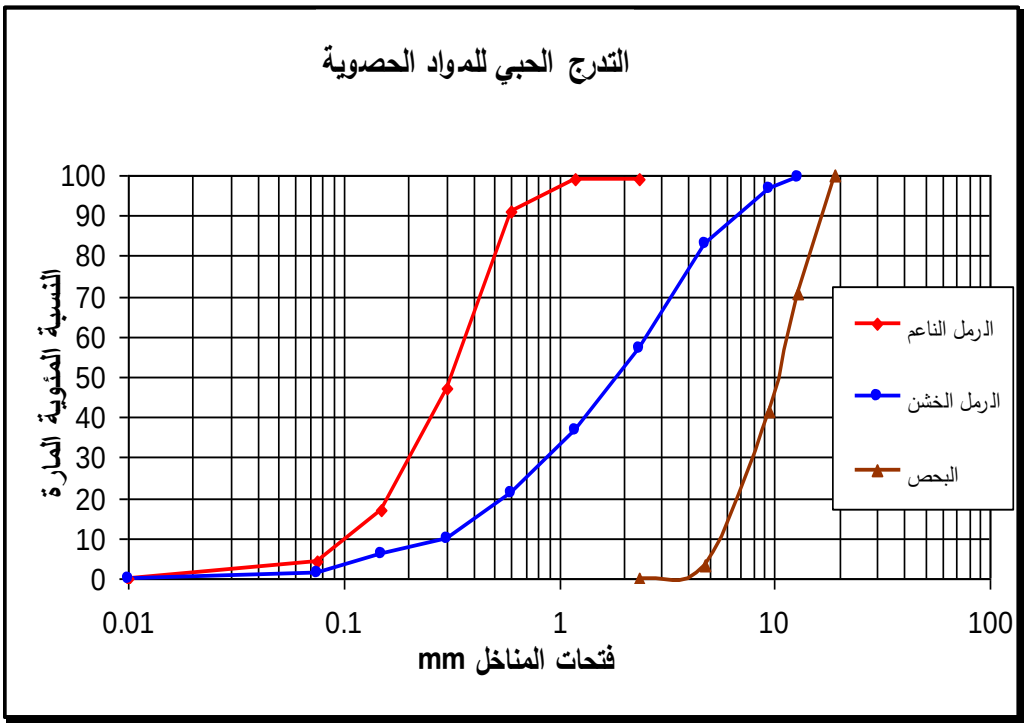
الإحضارات :

استُخدمت في البحث لتحضير الخلطات البيتونية المختلفة المواد التالية :

1. **إسمنت بورتلاندي عادي أسود تصنيف I** صنع معمل إسمنت طرطوس مُصنَّع وفق المواصفة السورية رقم 1987/63 بصنف 32.5 .
2. **رمل نهري من مقالع مرقية (منطقة بانياس)** خشن نسبياً بمعامل نعومة قدره Mf**=3.89** بلون بني فاتح، نظيف نسبياً بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي تعادل **ES=81%**. .
3. **رمل ناعم من مقالع منطقة القريتين** (رمل قرواني) ناعم نسبياً بمعامل نعومة قدره Mf**=1.5** نظيف جداً بقيمة متوسطة للمكافئ الرملي تعادل **ES=94%** .
4. **فيلر سيليسي** أبيض نعومته قريبة من نعومة الإسمنت (**سطحه النوعي يساوي 2000cm^2/g**) و وزنه الحجمي الصلب يماثل الوزن الحجمي الصلب للحصويات الكلسية (ρ_s**=2.65g/cm^3**)، حصلنا عليه من مجابل مؤسسة الإسكان العسكرية في اللاذقية.
5. **حصويات** من مقالع حسياء بمعامل لوس أنجلوس للاهتراء منخفض نسبياً (**LA=17%**) تم فيها استبعاد الأقطار التي تتجاوز الـ 20mm لتوافقَ متطلباتِ الحصولِ على بيتون ذاتي الارتصاص.
6. **ملدن عالي الفعالية** مصنَّع من مواد كيميائية خاصة خالية من الكلور والنيترات. تم الحصول عليه من شركة محلية مختصة بكيماويات البيتون.
7. **ماء للجبل** قابل للشرب.

يبين الشكل (2) التدرج الحبي لجميع المواد الحصوية التي تم استخدامها في البحث، والتي تتراوح أقطارها بين 0 و 20mm.

يبدو من المنحنيات أدناه أن الحصويات المستخدمة جيدة التدرج، وتغطي بشكل مقبول جميع مجالات الأقطار الحصوية من 0 حتى 20مم.



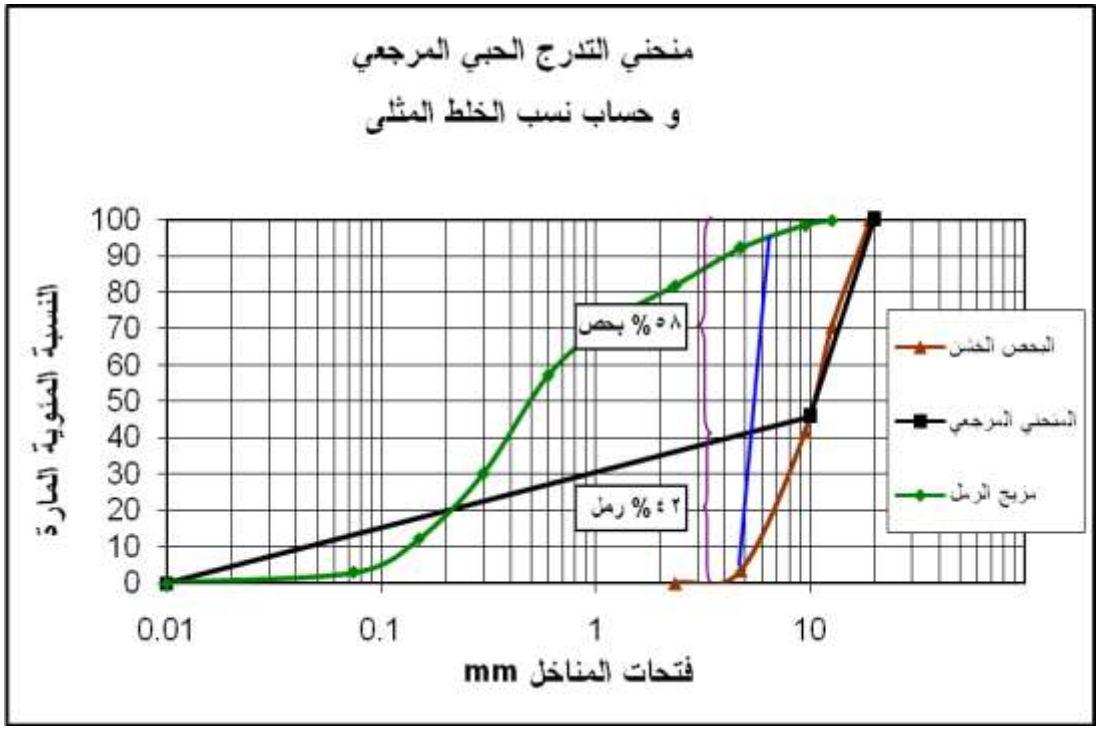
الشكل (2) : منحنيات التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

تم في الخلطات التجريبية استخدام خليط من الرمل بنسبة 45% من الرمل الخشن إلى 55% من الرمل الناعم و ذلك لتحقيق معامل نعومة مناسب لخليط الرمل بجوار الـ ***Mf*=2.6** .

تصميم الخلطة الأولية (Formulation de base):

كنا قد ذكرنا سابقاً بأن تصميم خلطات البيتون ذاتي الارتصاص عملية تحتاج إلى معايرات عديدة لتحقيق المتطلبات المتنوعة التي ذكرناها في الفقرة 3. و لبدء هذه المعايرات، اتبعنا في تصميم الخلطة الأولية طريقة درو غوريس (Dreux–Gorisse) لتصميم الخلطات [7] دون إضافة الفيلر و باستخدام حصويات قطرها الأعظمي D_{max}=19mm و عيار للإسمنت قدره 350Kg/m^3 يسمح بالحصول على بيتون تقليدي.

يبين الشكل (3) التدرج الحبي المرجعي المحسوب وفق (Dreux–Gorisse) و الذي يعطي النسب المثلى لخليط البحص مع مزيج الرمل للحصول على أفضل اكتناز للبيتون التقليدي.



الشكل (3) : منحني التدرج الحبي المرجعي و حساب نسب الخلط المثلى

يظهر على الشكل (3) منحنيات التدرج الحبّي لكل من البحص، ومزيج الرمل، والمنحني الحبي المرجعي المرسوم وفق (Dreux–Gorisse). كما تحدد القطعة المستقيمة بالأزرق و الواصلة بين النقطة الموافقة للمار 95% على منحني التدرج الحبّي لمزيج الرمل، والنقطة الموافقة للمار 5% على منحني البحص، عند تقاطعها مع المنحني المرجعي نسب الخلط المثلى والتي يبدو من الرسم أنها : 58% للبحص، و42% للرمل الممزوج بالنسب المذكورة سابقاً (45% من الرمل الخشن إلى 55% من الرمل الناعم).

و متابعةً للتصميم، تم حساب كمية الماء من علاقة بولومي (Bollomy)، لتكتمل مكونات الخلطة.

يبين الجدول (2) نتائج تصميم الخلطة المرجعية الأولى التي قمنا بتنفيذها مخبرياً، ويظهر به أيضاً مواصفات البيتون الناتج في حالتيه الطرية والصلبة، وذلك لإظهار مدى اقتراب هذا التصميم من حيث المواصفات من البيتون ذاتي الارتصاص (لم تتحقق اشتراطات البيتون ذاتي الارتصاص من حيث الجريان ضمن العلبة L ،وقطر الانبساط).

الجدول (2) تصميم الخلطة المرجعية، ومواصفات البيتون الناتج

تصميم الخلطة المرجعية				
التركيب (Kg/m^3)	البحص	مزيج الرمل	الإسمنت	الماء
	1040	753	350	182
الوزن الحجمي (Kg/m^3)	2325			
هبوط أبرامز (cm)	5 cm			
الجريان ضمن العلبة L-Box (H_2/H_1)	لم يحدث جريان			
المقاومة على الضغط Rc_{28} (kg/cm^2)	320			

البحث عن تصميم البيتون ذاتي الارتصاص:

يبدو من خصائص البيتون المرجعي (الجدول 2) عدم تحقق معايير المطابقة الخاصة بالبيتون ذاتي الارتصاص، لذلك كان لا بد من إجراء التعديلات التي يُتوقَّع أن تقود إلى تحقيق بعض معايير المطابقة أو كلها.

تم زيادة كمية الرمل على حساب كمية البحص للوصول إلى نسبة وزنية للبحص إلى الرمل G/S=1، كما تم إضافة الفيلر مبدئياً بمعدل $100Kg/m^3$ لزيادة حجم العجينة دون تعديل عيار الإسمنت، واستخدمت الملدنات عالية الفعالية بنسبة 3% من وزن الإسمنت، وهي نسبة قريبة من حد الإشباع [8].

يبين الجدول (3) تصميم الخلطة المعدل للمرة الأولى، ومواصفات البيتون الناتج في حالتيه الطرية والصلبة لبيان مدى اقتراب هذا التصميم من حيث المواصفات واختبارات المطابقة من البيتون ذاتي الارتصاص (لم تتحقق اشتراطات البيتون ذاتي الارتصاص من حيث الجريان ضمن العلبة L ،و قطر الانبساط).

الجدول (3) تصميم الخلطة المعدل للمرة الأولى، ومواصفات البيتون الناتج

تصميم الخلطة المعدل للمرة الأولى						
التركيب (Kg/m^3)	البحص	الرمل	الإسمنت	الماء	الفيلر	الملدن
	847	847	350	210	100	10.5
الوزن الحجمي (Kg/m^3)	2350					
هبوط أبرامز (cm)	انبساط محدود (D_1=40cm, D_2=42cm)					
الجريان ضمن العلبة L-Box (H_2/H_1)	جريان إلى وسط العلبة فقط (غير كامل)					
المقاومة على الضغط Rc_{28}) kg/cm^2(	172					

يبدو من التعديل الأول ظهور بعض المؤشرات للحصول على بيتون ذاتي الارتصاص مع ملاحظة التأثير الإيجابي للفيلر في بدء الجريان، وعدم انفصال البيتون، كما يُلاحظ انخفاض واضح للمقاومة نتجَ عن زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) من 0.5 إلى 0.6 لرفع قابلية تشغيل البيتون.

مما سبق تظهر الحاجة لإجراء تعديلات أخرى كزيادة عيار الإسمنت لرفع المقاومة، و زيادة نسبة الفيلر لضمان عدم حدوث انفصال الحصويات، و زيادة نسبة الملدِّن إلى الحد الأقصى (4%) لرفع قابلية التشغيل.

يبين الجدول (4) تصميم الخلطة المعدل للمرة الثانية، ومواصفات البيتون الناتج في حالتيه الطرية، والصلبة لبيان مدى اقتراب هذا التصميم من حيث المواصفات، واختبارات المطابقة من البيتون ذاتي الارتصاص.

الجدول (4) تصميم الخلطة المعدل للمرة الثانية و مواصفات البيتون الناتج

تصميم الخلطة المعدل للمرة الثانية						
التركيب (Kg/m^3)	البحص	الرمل	الإسمنت	الماء	الفيلر	الملدن
	766	766	400	255	150	16
الوزن الحجمي (Kg/m^3)	2353					
هبوط أبرامز (cm)	انبساط محقق (D_1=65cm, D_2=65cm)					
الجريان ضمن العلبة L-Box (H_2/H_1)	جريان كامل إلى نهاية العلبة L-Box (H_2/H_1=0.8)					
الاستقرار في المنخل (π)	استقرار حرج (π=18%)					
المقاومة على الضغط Rc_{28} (kg/cm^2)	195					

يبدو من نتائج الجدول (4) أن البيتون المصمم قريبٌ جداً من البيتون ذاتي الارتصاص مع ملاحظة ضرورة تحسين الاستقرار في المنخل، ورفع المقاومة. كما لوحظ في هذه الخلطة تأخر تصلب العينات المصبوبة، والناتج عن زيادة نسبة الملِّدن.

لذلك تم تخفيض نسبة الملِّدن إلى 3.5%، وإضافة مادة رافعة للزوجة من مستحضرات نباتية (مركبات السيللوز) للحد من عبور الملاط من المنخل في اختبار الاستقرار.

أضيفت المادة رافعة اللزوجة بكمية قليلة جداً للخلطة (0.1% من وزن الإسمنت)، وذلك بعد أن تم اختبار تأثيرها على خلطات تجريبية.

يبين الجدول (5) تصميم الخلطة المعدل للمرة الثالثة، ومواصفات البيتون الناتج في حالتيه الطرية و الصلبة لبيان مدى اقتراب هذا التصميم من حيث المواصفات و اختبارات المطابقة من البيتون ذاتي الارتصاص.

الجدول (5) تصميم الخلطة المعدل للمرة الثالثة، ومواصفات البيتون الناتج

تصميم الخلطة المعدل للمرة الثالثة (مع إضافة رافعة اللزوجة بنسبة وزنية 0.1% من وزن الإسمنت)						
التركيب (Kg/m^3)	البحص	الرمل	الإسمنت	الماء	الفيلر	الملدن
	766	766	400	250	150	14
الوزن الحجمي (Kg/m^3)	2350					
هبوط أبرامز (cm)	انبساط محقق (D_1=65cm, D_2=65cm)					
الجريان ضمن العلبة L-Box (H_2/H_1)	جريان كامل إلى نهاية العلبة L-Box (H_2/H_1=0.85)					
الاستقرار في المنخل (π)	استقرار مقبول (π=11%)					
طفو الماء	مهمل					
بيتون ذاتي الارتصاص (BAP - SCC)						
المقاومة على الضغط Rc_{28} (kg/cm^2)	225					

تُبين القيم السابقة تحقيق التصميم الأخير، وبعد سلسلة من التعديلات لاشتراطات البيتون ذاتي الارتصاص باستخدام الفيلر كإضافة تزيد من اللزوجة، ومن حجم العجينة الحاملة للحصويات، مع الإشارة إلى أن المقاومة الناتجة محدودة نسبياً نحتاج لرفعها لإضافة أكثر فعالية كهباب السيليس.

النتائج والمناقشة:

يظهر من خلال التصاميم المبينة في الجداول من 2 إلى 5 الانتقال من بيتون تقليدي ذي قوام لدن (Slump = 5cm) لا يحوي في تركيبه إضافات صلبة أو سائلة، إلى بيتون ذاتي الارتصاص غير تقليدي استُخدمت فيه الإضافات الصلبة (الفيلر الكلسي)، والسائلة (الملدنات عالية الفعالية)، ويحقق جميع اختبارات المطابقة المبينة في الفقرة 3 من هذا البحث.

وبالنظر إلى مقاومة هذا البيتون على الضغط البسيط نجد أن القيمة التي حصلنا عليها غير مرتفعة، ولكنها مقبولة نسبياً مع زيادة بكلفة الإنتاج. يعود ذلك إلى عدد من العوامل أهمها :

- استخدام إسمنت منتج محلياً بصنف منخفض (32.5MPa).
- استخدام إضافة خاملة كيميائياً (الفيلر الكلسي) لا تدخل في تفاعلات الإماهة، و لا تُساهم في رفع مقاومة البيتون إلا إذا استخدمت بنسب ضعيفة بهدف زيادة اكتناز البيتون، والاستفادة من قدرتها على الإملاء.
- عدم استخدام هباب السيليس الذي يؤدي دوراً مزدوجاً برفعه للزوجة البيتون (ضمان عدم الانفصال)، وزيادة مقاومته لغناه بأكاسيد السيليسيوم، ودخوله في تفاعلات الإماهة.

و للتحقق من تجانس البيتون بعد تصلبه، تم نشر عينة اسطوانية مصبوبة من هذا البيتون (15×30cm) من منتصفها و بمستوي يمر من قطرها العلوي إلى قطرها السفلي لدراسة توزع الحصويات ضمن هذه العينة و التأكد من عدم حصول الانفصال أثناء التجمد.

يبين الشكل (4) نصفي العينة الاسطوانية بعد نشرها، حيث يظهر، وبشكل واضح التوزع المنتظم للحصويات على كامل ارتفاع العينة، وعدم تركزها في النصف السفلي من الارتفاع، وهو ما يدل بشكل جلي على أن البيتون المتصلب لم يعانِ من انفصال الحصويات مما سيكسبه تجانساً يؤثر إيجاباً على سلوكه تحت تأثير الأحمال و الإجهادات المختلفة.

الشكل (4) : توزع الحصويات ضمن بنية البيتون ذاتي الارتصاص

لا بدَّ من الإشارة هنا إلى أن تصميم خلطات البيتون ذاتي الارتصاص سيتم دوماً عبر سلسلة من المحاولات و التعديلات [9]، التي تنطلق من خصائص البيتون المختَبَر في كل مرحلة من مراحل التعديل. وعند الوصول إلى التصميم الصحيح الذي يُحقِّق جميع اشتراطات هذا النوع من البيتون، يُحفَظ التصميم لتنفيذه في الورشة أو المجبل عند استخدام الإحضارات نفسها، وعند تغيير مكوّنٍ أو أكثر من مكونات هذا البيتون، يجب أن يُعادَ العملُ المخبري التجريبي للحصول على تصميم جديد يحقق معايير القبول، مع الإشارة إلى أن التعديل سيكون أطول، وأكثر صعوبة كلما زاد عدد المواد، والإحضارات الجديدة.

نشير هنا أيضاً إلى أن توافر الإسمنت المستورد في سوريا بصنف (42.5MPa)، واستخدامه في خلطات البيتون ذاتي الارتصاص سيزيد مقاومة هذا البيتون إذا ما تم استخدام الفيلر فقط كإضافة صلبة تزيد من حجم العجينة، وتعمل كمادة مالئة تزيد من الاكتناز، والديمومة أيضاً.

الاستنتاجات والتوصيات

بعد سلسلة التصاميم و التجارب المخبرية التي أجريت بهدف الوصول إلى تصميم مقبول للبيتون ذاتي الارتصاص باستخدام الفيلر كبديل للإضافات الصلبة التي تُستخدم عادة في صناعة هذا النوع من البيتون، توصلنا إلى إيجاد تصميم للبيتون ذاتي الارتصاص باستخدام مواد محلية بشكل كامل. تُعتبر هذه النتيجة هامة لأنها تسمح بالخروج من إطار البيتون التقليدي المستخدم بشكل كبير في منشآتنا، إلى إطار البيتون ذاتي الارتصاص الذي يشكل وجوده تطوراً تقنياً هاماً لما له من ميزات على الصعيد التقني، والاقتصادي سبق ذكرها في البحث.

تدلُّ النتائج الأولية للبحث على إمكانية تطوير المُنتَج بشكل كبير إذا ما استخدمت مهاراتُ التصميم بالشكل الصحيح، إذ بينا كيف تتغير مواصفات البيتون في حالته الطرية، والصلبة بشكل كبير عندما نقوم بإجراء التعديل الصحيح في تركيبه. سيتيح ذلك تطوير التصميم الأولي الذي حصلنا عليه، وتحسين أدائه و مقاوماته، وسيكون هذا التطوير أعمق، وأكثر وضوحاً عندما يُتاح استخدام مواد أخرى منتجة محلياً أو مستوردة في تصاميم البيتون ذاتي الارتصاص.

يمكن وبتحليل بسيط توقع زيادة مقاومة البيتون الذي توصلنا لتركيبه في هذا البحث بنسبة تقارب 30% إذا ما استخدمنا إسمنت بورتلاندي أسود بصنف أعلى (42.5MPa)، و بقيت المواد الأخرى المستخدمة ذاتها دون إدخال محسنات جديدة. كما يمكن رفع المقاومة بشكل أكبر إذا ما تمَّ إدخال بعض الإضافات الصلبة الأخرى كالرماد المتطاير و هباب السيليس الذي سيسمح بالحصول على البيتون ذاتي الارتصاص عالي المقاومة.

أما التوصيات التي يمكن تسجيلها في نهاية هذا البحث فهي :

- ضرورة البحث عن تصاميم متعددة من هذا البيتون باستخدام إحضارات متنوعةٍ ومن مقالع مختلفة للبدء باستخدامه لما يُقدِّمهُ من ميزات سبقَ ذكرها في البحث.
- الاستفادة من المرونة التي تُبديها التصاميم عند تعديلها، وتوسيع البحث بهدف إيجاد خلطات تختلف بحسب الإحضارات، والإضافات المتوفرة.
- العمل على تسويق هذا البيتون بعد التحقق من نجاح بعض التصاميم في مشاريع محدودة عن طريق شركات إنتاج البيتون الجاهز (Béton Prêt à l'Emploi, BPE).
- العمل على بناء قاعدة معطيات حول مواصفات، وتركيب هذا البيتون من خلال مساهمة شركات إنتاج البيتون الجاهز في تنفيذه، وإجراء اختبارات منفصلة على التصميم المعتمَد، وفي مراكز البيتون المختلفة بهدف الوصول إلى تصميمٍ ثابت يمكن اعتماده باستخدام إحضارات ذات خصائص معروفة، ومقدَّمة إلى المجابل دون تغييرٍ كبيرٍ في مواصفاتها عند التوريد بأوقات مختلفة.

المراجع:

1. MALHOTRA, V. M. Matériaux Complémentaires en cimentation pour le béton, Ottawa, Minister of Supply and Services, Canada, 1989, 471.
2. OKAMURA, H. et al. Self-compacting high performance concrete, Proceeding of the Fifth EA SEC, vol.3, 1995, pp.2381-2388.
3. OKAMURA, H. , OUCHI, M. Self-compacting concrete, Development, present and future, Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, septembre 1999, pp. 3-14, 13-15.
4. ASSIÉ, S. Durabilité des Bétons AutoPlaçants, Rapport final de thèse, Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Toulouse, 2004, 249.
5. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, www.efca.info or www.efnarc.org, May 2005, 63.
6. PETERSSON, Ö. , BILLBERG, P. , VAN, B. K. A model for Self-Compacting Concrete", International Rilem Conference on 'Production methods and workability of concrete, RILEM Proceedings, 1996, 32.
7. DREUX, G. , FESTA, J. Nouveau guide du béton et de ses constituants, Eyrolles, Paris, 1998, 409.

8. خيربك، علي. أثر الاستخدام الأمثل للملدنات على مواصفات المونة الإسمنتية في الحالة الطرية والصلبة، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية– سلسلة العلوم الهندسية، جامعة تشرين، المجلد (30) العدد (1) 2008، 29 – 39.

9. Aggoun, S. , KHEIRBEK, A. ,.KADRI, E. H. , DUVAL, R. Study of flowability of Self-compacting Concrete, 1st North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC), November 12-13, 2002. Evanston, Illinois (USA). pp.235-240.
10. 10.FARES, H. Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçant exposés à une température élevé. Rapport final de thèse, Université de Cergy Pontoise, France, 2009, 192.