دراسة سلوك اجهاد–تشوه لعينات اسطوانية من البيتون ذاتي الدمك SCC والمنتجة من المواد المحلية

اسم الباحث : م.عمار طواشي–دكتوراه هندسة إنشائية–كلية الهندسة المدنية–جامعة البعث.

موبايل:0956125924 ، أيميل: atawashi@albaath–univ.edu.sy

المشرف: د.م سليمان العامودي–أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية–جامعة البعث.

موبايل:0944880263 ، أيميل: dr.s.amoudi.1@gmail.com

Study of Stress-Strain behavior of self-compacting concrete SCC Cylindrical Samples Produced of Local Materials

Researcher Name: Eng. Ammar Tawashi – PhD of Structural of Civil Engineering – AL-Baath University. Engineering – Faculty

Mobile: 0956125924, E: mail atawashi@albaath–univ.edu.sy

Supervisor: Dr. Soleman Al-Amoudi -Assistant Professor at the Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University.
Mobile: 0944880263, E: mail dr.s.amoudi.1@gmail.com

ملخص:

إن الهدف الأساسي من البحث القدرة على انتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) من مواد البناء المحلية فقط، يتم إنتاجه واختباره تجريبياً، ويتمتع بقابلية تشغيل عالية، قادر على المرور والانسياب ضمن العنصر البيتوني والتغلغل بسهولة بين قضبان التسليح دون حدوث انفصال للمزيج البيتوني، مما يمكننا من استخدامه في اعمال التشييد، والترميم والتدعيم وبأقل التكاليف للإنتاج.

تم إنتاج ثلاثة خلطات بيتونية بثلاثة عيارات للاسمنت (550,500,450 kg/m3)، و ثلاثة انواع من الملدنات (HRW, Sikament, S) ونسبتي ملدن (2%,2.5%) من وزن الاسمنت، وتم دراسة خصائص هذا النوع من البيتون بحالتيه الطرية والصلبة لتحديد المقاومة الاسطوانية المميزة، وتمثيل منحني إجهاد–تشوه (6,ξ) للعينات المختبرة على عمر 28 يوم، ومقارنة النتائج مع نماذج (6,ξ) لدراسات وأبحاث سابقة، وأوضحت النتائج تقارباً يصل حتى (80%)، وأن أقرب منحني يوصف الحالة هو منحني العالم بوبوفيتش POPOVICS بجزئه الصاعد، ومنحني الكود الاوربي EURO–CEB بجزئه الهابط.

الكلمات المفتاحية:

(البيتون المسلح– بيتون ذاتي التوضع–ذاتي الدمك– الملدنات– اجهاد–تشوه– قابلية التشغيل)

Abstract:
The main purpose of this research is the ability to produce self-compacting concrete from only local building materials, it is produced and tested experimentally, and it has a high operability and able to pass and flow within the concrete member and easily penetrate between the reinforcing bars without the occurrence of separation or accumulation of the concrete mixture This enables us to use it in construction, restoration and strengthen at the lowest costs of production.

Three concrete mixtures have been produced with three grades of cement (550,500, and 450 kg/m3) and three types of chemical plasticizers (HRW, Sikament, and S) and two ratios (2%, and 2.5%) of the weight of cement, The characteristics of this type of concrete in its fresh and solid states were studied to determining the cylindrical strength, measuring the stress-strain curve (ϭ,ξ) for the tested samples at the age of 28 days, and comparing the results with models (ϭ,ξ) for previous reference studies and research, the results showed That the convergence of the curves reaches up to (80%), and that the closest curve to describe the case is the POPOVICS curve with its ascending part and the EURO-CEB curve with its descending part.

key words:
(Reinforced Concrete- self-compacting concrete SCC- plasticizer - stress - strain - operability)

1- المقدمة:

يعتبر البيتون المسلح بأنواعه أهم مواد الإنشاء وأكثرها استخداماً، وأول استخدام حديث له في القرن التاسع عشر قد سبب ثورة تكنولوجية في صناعة البناء وأصبحت واحدة من أكثر مواد البناء شيوعاً.

البيتون المسلح التقليدي والذي تم استخدامه على مدى طويل في تشييد الأبنية التجارية والسكنية واجه عدة تغييرات في تركيبته، من خلال تغيير نسب وأوزان المواد الداخلة بتركيبه أو من خلال إضافة مواد (طبيعية او مصنعة) محسنة له، بنسب محددة، والهدف من ذلك الوصول لخليط بيتوني مُحَسَنْ ومُطَوَر يعطي خواص مرغوبة بحالته الطرية ومقاومة عالية لمختلف الإجهادات المؤثرة فيه بالحالة الصلبة.

توازياً مع ذلك، البحث للحصول على خليط بيتوني يحقق قابلية تشغيل عالية ومقاومة عالية نسبياً كان جُلَ اهتمام العديد من الباحثين.

ومع التطور التكنولوجي بالصناعة الإنشائية تم الوصول لبيتون حديث ذاتي التوضع والرصSCC ويعد أهم التطورات في صناعة البيتون والبناء في الوقت الحالي، فقد ازداد استخدامه بصورة ملحوظة في السنين الأخيرة بأعمال التشييد الإنشائي كبديل عن استخدام البيتون العادي، لقابلية التشغيل العالية التي يتمتع بها البيتون ذاتي التوضع فهو قادر على الإنسياب والمرور خلال العناصر الإنشائية بتأثير وزنه الذاتي فقط، من خلال إضافة مواد مُحَسِنة لمواصفات المزيج البيتوني[1]، دون حصول انفصال بمكوناته ومهما كانت كثافة التسليح، بلاضافة للميزات الأخرى التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع مقارنة مع البيتون العادي من حيث الجودة، وتخفيض تكاليف التشييد المتعلقة برج البيتون فهو قادر على رص نفسه بنفسه بطريقة كاملة ومنتظمة وبالتالي طرد الهواء المحصور وتكوين أسطح بيتونية ملساء وكثيفة، إضافةً لخفض العمالة المطلوبة لصبه و الزمن اللازم لأعمال التشييد[6]، وحيث اعتمد إنتاج هذا النوع من البيتون بصورة أساسية على

نسب تجريبية، اختلفت هذه الخلطات باختلاف خصائص المواد والاضافات الداخلية في تركيبها، إلا أن هناك عدد من المعايير الخاصة وضعت لتحديد خواص هذا البيتون، ولتجنب الحصول على خلطات سيئة من حيث المقاومة و قابلية التشغيل المطلوبة.

فقد قام الباحثون (AL–HARIRI S and ALAEED M) من جامعة دمشق [2] بإعداد بحث يوصف تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد المحلية وأهميته في صناعة التشييد، واستخدموا عدة عيارات للاسمنت وعدة نسب ل(W/C) والسيلكيا فيوم كمادة مالئة، وتم الحصول على مقاومات عالية تصل وسطياً حتى (50 Map).

كما قدم الباحثون (Selvi.K, T.Mahendran, N.Atthikumaran) من جامعة ناندها في الهند [8] بإعداد بحث يوصف الخواص الطازجة لبيتون ذاتي الدمك تم انتاجه باستخدام الرماد المتطاير كمادة مالئة اضافية وبنسب مختلفة للخلطات وبالاضافة بدراسة عامل مرونة عينات اسطوانية مصنوعة من هذا البيتون.

ودرس الباحث (Jianjie Yu) من جامعة هانغ كونغ نانشنغ في الصين [7] تأثير اضافة مواد مطاطية بنسب مختلفة على التغيير المنتظم لأداء تشوه البيتون ذاتي التوضع بدراسة منحني اجهاد–تشوه.

مما سبق نلاحظ قيام الباحثون باستخدام مواد مالئة ناعمة مثل الرماد المتطاير والسيلكيا فيوم في انتاج البيتون ذاتي التوضع لتحسين خصائصه، مع محاولة بحثية لاستخدام مواد مطاطية لدراسة أثره على تشوه البيتون، هذا ماتجنبناه في بحثنا من استخدام مواد إضافية مكلفة وغير متاحة بشكل دائم، ومحاولة انتاج بيتون ذاتي التوضع من المواد المحلية فقط يحقق المطلوب بحالتيه الطرية والصلبة.

2– مشكلة البحث

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع (SCC) في أعمال التشييد الإنشائي بديلاً عن البيتون العادي يعتبر من الأمور الجيدة والمثيرة للإهتمام لإنتاج بيتون ذو مواصفات مرغوبة وقابلية تشغيل جيدة بعد أن كان استخدامه مقتصراً لتطبيقات الإصلاح، ورغم التقدم العلمي الكبير في مجال إنتاج البيتون ذاتي التوضع لاستخدامه في تطبيقات الصب في المكان والبيتون الجاهز، إلاَّ أنَّه لا توجد طريقة ثابتة خاصة ومرجع معتمد

يحدد نسب مدروسة للمواد الداخلة في إنتاجه من حصويات وإسمنت ومواد إضافية أخرى، والإعتماد على نسب تجريبية لأبحاث سابقة ودراسات خاصة من خلال إجراء خلطات تجريبية غايتها الوصول إلى إنتاج بيتون ذو قابلية تشغيل جيدة بأقل كلفة اقتصادية وأعلى مقاومة ممكنة، والتي قد اعتمدت على مبدأ أن النسب المثلى من المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع تختلف باختلاف مواصفات المواد المختارة بحد ذاتها، فذلك يعتبر ناحية جدل في البيتون ذاتي التوضع إلى حد الآن، حيثُ أن الإختيار الخاطئ للمواد والنسب غير المناسبة تؤدي إلى نتائج خاطئة، وعدم التوصل إلى بيتون ذو مواصفات وخواص محددة يحقق المقاومة المطلوبة في العناصر المصنوعة منه للعوامل المحيطة.

3- هدف البحث:

يهدف بحثنا لإجراء مقارنة سلوكية لعينات مصنعة مخبرياً من البيتون ذاتي التوضع SCC من المواد المحلية، ودراسة السلوك الاجهادي-التشوهي (6,ξ) للعينات المخبرية ومقارنتها مع نماذج منحنيات تجريبية بحثية.

4- الدراسة المرجعية:

يُعرف البيتون ذاتي التوضع SCC بأنه بيتون عالي التدفق، ثابت ومستقر [1] ويمكن أن ينتشر من مكان الضخ ويملئ القوالب ويغلف فولاذ التسليح دون أي دمك ميكانيكي أو رص يدوي.

وبالتالي فإن خليط البيتون ذاتي التوضع يصنف بأنه بيتون ذاتي (الدمك) إذا توفرت فيه المتطلبات الأساسية لقابلية التشغيل [11] التالية:

- قابلية الملئ العالية تحت تأثير وزنه الخاص (Filling Ability).
- مقاومة الانفصال العالية (الاستقرار) (Segregation Resistance).
- القدرة على التدفق والانسياب العالية (Passing Ability).

4-1 طرق اختبار قابلية التشغيل للبيتون ذاتي التوضع:

هناك العديد من طرق الاختبار المستخدمة لمراقبة قابلية تشغيل البيتون ذاتي التوضع SCC للتحقق من الخلطة المشكلة في الميدان، فإلى الآن لا يوجد طريقة معتمدة عالمياً لقياس الخواص الطرية له[5]، وبالتالي كان لابد من تطبيق عدد من طرق الاختبار الخاصة بقابلية الملئ، ومقاومة الانفصال، والقدرة على التدفق والانسياب لكل خلطة مشكلة للتأكد من تحقق المتطلبات المذكورة آنفاً.

إن قابلية التشغيل في البيتون ذاتي التوضع يعتمد على عدة عوامل[10] منها:

(نوع المنشأة – معدات الضخ و نقاط توضع البيتون – كثافة فولاذ التسليح ودرجة تعقيد الكوفراج – تفاصيل التصميم الهيكلي).

وهناك العديد من المعايير التي يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع للوصول للمواصفات المطلوبة للخلطة ومنها:

(الخواص الهندسية للعنصر المصبوب – خواص المواد الداخلة بالخلطة – تكنولوجيا الصب وغيرها..).

4-2المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC:

لما كانت المواد الداخلة في تركيب خليط SCC مشابهة لتلك المستخدمة في إنتاج البيتون التقليدي من حصويات خشنة وناعمة وإسمنت، إلا أنه يجب إضافة بعض المواد الأخرى للخلطة البيتونية لتحسين قابلية التشغيل لها[3]، والحصول على بيتون ذو جودة مطلوبة، وتتطلب هذه الاعتبارات الاختيار السليم والجيد للمواد اللازمة لتشكيل الخلطة البيتونية SCC ومطابقاتها للمواصفات القياسية المطلوبة للوصول للخصائص المذكورة أعلاه والحصول على مقاومات بيتونية عالية، ويمكن أن تتوزع المواد وفق التالي[5]:

(الحصويات الخشنة – الحصويات الناعمة – المواد الناعمة والاسمنت – الماء – الاضافات (كالملدنات) وغيرها).

5- تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC

كما ذكرنا سابقاً أنه لا توجد طريقة ثابتة ومعتمدة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع *SCC*، إلا أنه يوجد عدد من الخلطات البيتونية ذاتية التوضع SCC تم إنتاجها واختبارها في الدلائل الإرشادية الهندسية وأبحاث أكاديمية سابقة، تعتمد بشكل أساسي على نسب

وأوزان تقديرية للمواد الداخلة في تركيبها، وتختلف بدورها باختلاف الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمواصفات الهندسية لتلك المواد، بما يحقق الهدف المحدد لاستخدامها من حيث قابلية التشغيل والمقاومات المطلوبة، إلا أن لجميع تلك الخلطات التجريبية الشكل العام نفسه لمراحل تركيبها والتي تتلخص[5]:

(تحديد هبوط الانسياب "قطر الانتشار" و (sec) $\boldsymbol{T_{50}}$ الهدف – اختيار نسبة الحصويات الخشنة – تقدير المحتوى الاسمنتي المطلوب والماء – حساب حجم العجينة والملاط –تحديد الخليط – إجراء خلائط تجريبية – إجراء الاختبارات اللازمة للتحقق من سمات البيتون ذاتي التوضع من حيث قابلية التشغيل – ضبط نسب الخليط بناءاً على نتائج الاختبارات – إجراء المزيد من الاختبارات من أجل مطابقة النتائج، حتى يتم تحقيق الخصائص المطلوبة من الخليط).

6- مراقبة جودة البيتون ذاتي التوضع SCC:

مراقبة الجودة أمر بالغ الأهمية بالنسبة للبيتون ذاتي التوضعSCC، ويجب إجراء اختبار مراقبة الجودة بواسطة موظفين ذوي خبرة [1]، للتحقق من الخواص المطلوبة لهذا النوع من البيتون وذلك عن طريق إجراء العديد من التجارب المخبرية ومطابقة تحقيقه للمواصفات المطلوبة أم لا.

7- الدراسة التجريبية في مخبر البيتون المسلح في جامعة البعث

من أجلِ انتاج مزيج بيتوني متجانس من البيتون ذاتي التوضع SCC ضمن المخبر فإن ذلك يتطلب القيام بعدة مراحل وهي كالتالي:

- تحديد المواد الأساسية الداخلية في تركيب الخلطة البيتونية والتي تختلف باختلاف الخواص الفيزيائية والهندسية لها وتحدد بدورها خواص المزيج البيتوني بحالته الطرية والصلبة.
- تحديد نسب واوزان المواد المحلية الداخلة بتشكيل الخليط البيتوني.

- إجراء تجارب الخواص الطرية للمزيج البيتوني والتي تتضمن خصائص قابلية التشغيل والتي تعطي بدورها المزيج الأمثل.
- إجراء تجارب الخواص الصلبة بتحديد قيمة مقاومة البيتون واستنتاج مخطط (ε,6)، ومقارنة السلوك الاجهادي والتشوهي للبيتون المنتج.

7-1 مواد البناء الاساسية المستخدمة في انتاج البيتون ذاتي التوضع SCC:

تم التحقق من المواد المستخدمة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC محلي الصنع، من خلال إجراء التجارب المخبرية الأساسية عليها، في مخابر كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، وبالاعتماد على المواصفات الفنية للمواد المضافة والتي تحددها الشركات المنتجة في الجمهورية العربية السورية.

- **الحصويات الخشنة:**

حصويات متدرجة، مكسرة، حادة الحواف وذات سطح متوسط الخشونة، مأخوذة من مقالع منطقة حسياء في ريف حمص كما هو موضح بالشكل رقم(1)، مطابقة للمواصفات القياسية السورية رقم (332) لعام 2007، والتي تعتبر ذات جودة عالية في انتاج البيتون المسلح فقد تم استخدام حصويات خشنة [4] ذو مقياس أقصى 12.5mm.

الشكل رقم (1) الحصويات الخشنة

- **الحصويات الناعمة:**

تم استخدام نوعين من الحصويات الناعمة وهي كالتالي:

الرمل القيرواني كما موضح بالشكل رقم(2).

رمل الكسر (من مقالع حسياء-ريف حمص).

الشكل رقم (2) الحصويات الناعمة

- **المواد الناعمة و الإسمنت البورتلاندي:**

من أجل الحصول على مزيج بيتوني ذاتي التوضع SCC مصنع من المواد المحلية المتاحة، يمكننا استخدامه في التطبيقات الهندسية المختلفة، ويحقق المتطلبات الأساسية منه من حيث قابلية التشغيل والمقاومة المقبولة، تم استخدام الاسمنت البورتلاندي ماركة 32.5 نيوتن/مم2 مطابق للمواصفات القياسية السورية–1 رقم 3800 عام 2015 كمادة ناعمة أساسية للخليط ممثلاً عن المواد الناعمة الاخرى المحسنة للخليط، وبعدة عيارات كما موضح بالجدول رقم (1)، وذلك للتحقق من أثر المحتوى الاسمنتي على مقاومة البيتون وقابلية تشغيل الخليط.

الجدول رقم(1) عيارات الاسمنت المستخدمة

عيار الاسمنت ضمن المزيج Kg/m3		
450 Kg/m3	500 Kg/m3	550 Kg/m3

- **الماء:**

تم استخدام ماء صالح للشرب، نظيف، خالي من الزيوت والمواد الضارة، فقد أبدت الخلطات البيتونية استجابة عند النسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ ، لذلك تم اعتماد هذه النسبة لجميع خلطات SCC.

- **الاضافات:**

تم استخدام ثلاث أنواع من الملدنات، وبنسبتين (2.5% , 2%) من وزن الاسمنت [3] في الخلطات التجريبية كما موضح بالجدول (2).

الجدول رقم(2) أنواع الملدنات

أنواع الملدنات	HRW	Sikament	S
نسبة الملدن من وزن الاسمنت	2%, 2.5%		

8- التجارب المخبرية

قبل البدء بإجراء التجارب يجب التأكد من عدم اختلاف محتوى الرطوبة في الركام والتي يمكن أن تسبب بدورها خلل في اعداد الخلطة البيتونية، ولها أثر كبير على قابلة تشغيل SCC مقارنة مع الخلطة التقليدية، حيث وضعت المواد ضمن فرن كهربائي على درجة 110C، ولمدة 24 ساعة للتخلص من الرطوبة الزائدة ضمنها.

قمنا بإجراء عدد من الخلطات البيتونية التجريبية باستخدام الخلط اليدوي، فقد تم تحديد النسب والأوزان اللازمة لكل خلطة بالاستعانة بالدراسات والأبحاث السابقة، كما إن عملية خلط البيتون تمت على مراحل متتالة [10] وفق التالي:

(تحديد الاوزان والنسب اللازمة للخلطة التجريبية باستخدام ميزان الكتروني دقيق – الخلط الجاف للمواد الحصوية والاسمنت – اضافة الماء والملدن بشكل تدريجي – البدء بتجارب ضبط الجودة و قابلية التشغيل مع الاستمرار في خلط المزيج).

8-1 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمنتي 550 kg/m3:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 550 kg/m3، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ ثابتة كما موضح بالجدول(3)، وثلاثة أنواع من الملدنات (HRW, Sikament, S)، فقد استجابت الخلطات الثلاث عند نسبة ملدن 2%، فقد تم ملاحظة أن سلوك المزيج الحاوي على الملدن "HRW" كان الأفضل من حيث قابلية تشغيل وتجانس الخليط والتي تم التحقق منها باستخدام تجارب قابلية التشغيل المذكورة سابقاً، والمزيج الحاوي على الملدن "Sikament" كان أقل جودة، فقد لوحظ نزيف وحدوث انفصال طفيف للمزيج، أما بالنسبة للخليط الحاوي على الملدن "S" كان الأسوء، فقد أعطى مزيج بيتوني بقابلية تشغيل غير مثالية ما أن يخلط المزيج إلا ويبدأ بالتجمد، لذلك تم استبعاده في الخلطات التجريبية اللاحقة.

الجدول رقم (3) مواد البناءالمستخدمة بانتاج خلائط البيتون عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

مواد البناء المستخدمة	الوحدة	النسبة/الكمية
نسبة الملدن	%	2%
W/C	–	0.39
الاسمنت	$kg/m3$	550
الرمل	$kg/m3$	625
البحص	$kg/m3$	1000

8-1-1الخلطة الأولى من البيتون ذاتي التوضع SCCعيار اسمنت 550 Kg/m3 وباستخدام الملدن HRW:

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (HRW)، وبنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ و عيار أسمنت 550 Kg/m3، وكانت نتائج قابلية التشغيل للخلطة البيتونية SCC وفق التالي:

- اختبار هبوط الانسياب (قطر الانتشار) SF والزمن $T_{50}(sec)$:

وضِعَ المخروط بمنتصف الدائرة 50 cm الشكل رقم(3)، تم ملئه من البيتون ذاتي التوضع SCC، ومن ثم رفعه مرة واحدة للأعلى وأخذ القياسات.

وفق النتائج الموضحة بالجدول رقم (5) يعتبر البيتون ذو لزوجة عالية وقابلية ملئ وجريان جيدة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF1 والذي يمكن استخدامة في منشآت البيتون ذات التسليح الخفيف أو غير المسلح–المقاطع الصغيرة.

الشكل رقم (3) يوضح هبوط الانسياب

- اختبار J–ring:

وضِعَ مخروط أبرامز بمنتصف الدائرة 50 cm وأُحيط بالحلقة J، من أجل تمرير المزيج من قضبان التسليح [11]، ومن ثم اتباع نفس خطوات تجربة هبوط الانسياب كما موضح بالشكل رقم(4)، فوفقاً للنتائج الموضحة بالجدول رقم (5) يعتبر الخليط ذو لزوجة مقبولة و قدرة جيدة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.

الشكل رقم (4) يوضح تجربة J-ring

- اختبار الانفصال SR:

وضِعت عينة من المزيج البيتوني على المنخل ذو الفتحة 4.75mm، كما موضح بالشكل رقم(5)، دون رص أو دمك لها، ومن ثم التحقق من ثبات المزيج وعدم قابليته للانفصال وقد تبين أن انفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة.

الشكل رقم (5) يوضح تجربة الانفصال

- اختبار مؤشر الثبات المرئي (VSI):

أعطى الملدن حالة عدم وجود انفصال أو نزف في مركز انتشار البيتون، وبالتالي يمكن ان يأخذ تصنيف عالي الثبات، و يكون رقم مؤشر الثبات المرئي VSI=0 كما موضح بالشكل رقم (6).

الشكل رقم (6) يوضح المزيج البيتوني وتقييمه مرئياً

- **المقاومة الاسطوانية:**

قمنا بصب عينات أسطوانية بأبعاد (15×30 سم) من الخلطة الاولى كما هو موضح بالشكل رقم (7)، لوحظ وجود تعشيش منخفض على سطح إحدى العينات، غُمرت بالماء وتم إخراجها قبل 24 ساعة من كسرها في عمر 7 أيام للتنبؤ بقيم المقاومات المتوقعة و على عمر 28 يوم الجدول رقم(4).

الجدول رقم (4) المقاومة الاسطوانية المميزة

عينات SCC	خواص العينات				المقاومة الأسطوانية على عمر 28 يوم MPA
	الحجم cm^3	الوزن kg	الوزن الحجمي t/m^3	قوة الكسر kN	
HRW-550-00	5301	12.53	2.36	554	31.19
HRW-550-01	5268	12.56	2.38	665	37.61
HRW-550-02	5301	12.46	2.35	550	31.12

- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية[9]، فقد كان منحني (اجهاد-تشوهε-6) كما هو موضح بالشكل رقم(10).

الشكل رقم (7) يوضح الاسطوانات البيتونية

8-1-2الخلطة الثانية من البيتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 550 Kg/m3 وباستخدام الملدن SIKAMENT:

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (SIKAMENT)، بنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ و عيار أسمنت 550 Kg/m3، ومن خلال نتائج قابلية التشغيل للخلطة البيتونية تبين:

- يعتبر البيتون ذو قابلية ملئ وجريان جيدة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF1 والذي يمكن استخدامة في منشآت البيتون ذات التسليح الخفيف أو غير المسلح-المقاطع الصغيرة.
- يعتبر الخليط ذو لزوجة مقبولة و قدرة عالية على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.
- انفصال الخليط فوق الحدود المسموحة كما هو موضح بالجدول رقم(5).
- حالة وجود كومة حصويات مجمعة دون حدوث نزف، وبالتالي يمكن ان يأخذ تصنيف منخفض الثبات كما موضح بالشكل رقم (8)، و رقم مؤشر الثبات المرئي VSI=2.

الشكل رقم (8) يوضح المزيج البيتوني وتقييمه مرئياً

- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم [9]، فقد كان منحني (اجهاد-تشوه ε-6) وفق الشكل رقم (10).

8-1-3الخلطة الثالثة من البيتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 550 Kg/m3 وباستخدام الملدن S:

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (S)، بنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ و عيار أسمنت 550 Kg/m3، ومن خلال نتائج قابلية التشغيل للخلطة البيتونية تبين:

- يعتبر البيتون ذو قابلية ملئ وجريان مقبولة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF2 والذي يمكن استخدامة للعديد من التطبيقات العادية.
- يعتبر الخليط ذو لزوجة عالية جداً و قدرة منخفضة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.
- انفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة كما هو موضح بالجدول رقم(5).
- حالة وجود هالة ملاط وكومة حصويات كبيرة مجمعة في مركز انتشار البيتون كما موضح بالشكل رقم(9)، مع ملاحظة حدوث انفصال ونزيف، يأخذ تصنيف منخفض الثبات جداً، ورقم مؤشر الثبات المرئي VSI=3.

الشكل رقم (9) يوضح المزيج البيتوني وتقييمه مرئياً

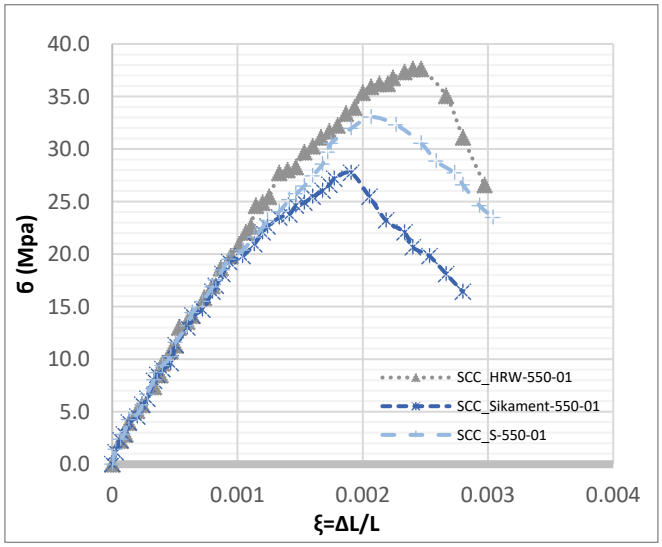
- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم [9]، فقد كان منحني (اجهاد-تشوه ε-6) وفق الشكل التالي رقم (10).

يبين الجدول رقم(5) أدناه خصائص قابلية التشغيل للخلطات المختبرة، والمشكلة من نسب وأوزان موحدة للمواد والاضافات الداخلة بتصنيعها عند عيار اسمنت 550 Kg/m3، باختلاف فقط نوع الملدن:

الجدول رقم (5) خصائص قابلية تشغيل الخلطات البيتونية المخبرية عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

خصائص قابلية التشغيل	الملدن الوحدة	HRW الخلطة الأولى	SIKAMENT الخلطة الثانية	S الخلطة الثالثة	الحدود المقبولة
هطول الانسياب	cm	58	55	68	55-65
زمن الانسياب	sec	5.4	6.47	8.86	-
J-ring	$(D_J\%)$	86%	98%	72%	$\geq 80\%$
اختبار الانفصال	(SR%)	6.42%	13.30%	4.85%	$\leq 15\%$
VSI	-	VSI=0	VSI=2	VSI=3	-

كما يوضح الشكل رقم (10) ادناه منحنيات (اجهاد-تشوه ξ-σ) للخلطات المختبرة المذكورة أعلاه:



الشكل رقم (10) منحنيات (اجهاد-تشوه ξ-σ) لعينات SCC المختبرة عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

2-8 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمنتي 500 kg/m3:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 500 kg/m3، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ ثابتة، ونوعين من الملدانات (HRW,SIKAMENT)، حيث استجابت الخلطات عند نسبة ملدن 2.5%، وفي هذه الحالة أيضاً سلوك المزيج الحاوي على الملدن "HRW" كان الأفضل

من حيث قابلية تشغيل وتجانس الخليط، والمزيج الحاوي على الملدن "SIKAMENT" كان أقل جودة، فقد لوحظ أيضاً حدوث نزف وانفصال طفيف للمزيج.

8-2-1الخلطة الأولى من البيتون ذاتي التوضعSCCعيار اسمنت 500 Kg/m3 وباستخدام الملدن HRW:

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (HRW)، بنسبة 2.5% من وزن الاسمنت، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ و عيار أسمنت 500 Kg/m3، حيث كانت نتائج قابلية التشغيل للخلطة البيتونية SCC كما هو موضح في الجدول رقم(6)، من خلال التحقق باستخدام تجارب الخواص الطرية الموضحة بالشكل رقم (11):

الشكل رقم (11) يوضح تجارب الخواص الطرية

وفق النتائج الموضحة يعتبر الخليط ذو لزوجة وقابلية ملئ جيدة، والقدرة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح عالية، وانفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة، ألا هناك ملاحظ بوجود نزف طفيف للمزيج وبالتالي يمكن أخذ مؤشر الثبات المرئي VSI=1.

تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم، فقد كان منحني (اجهاد-تشوه ε-σ) وفق الشكل التالي رقم (12).

8-2-2الخلطة الثانية من البيتون ذاتي التوضعSCCعيار اسمنت 500 Kg/m3 وباستخدام الملدن SIKAMENT:

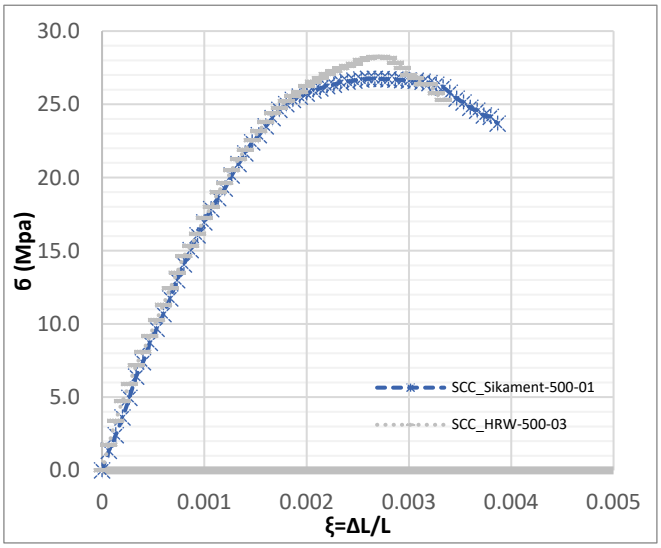
ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (SIKAMENT)، بنسبة 2.5% من وزن الاسمنت، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ و عيار أسمنت 500 Kg/m3، وفقاً النتائج الموضحة في الجدول أدناه رقم(6)، يعتبر الخليط ذو لزوجة عالية وقابلية ملئ جيدة، والقدرة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح مقبولة، وانفصال الخليط ضمن الحدود

المسموحة، ويلاحظ وجود نزف طفيف وتشكل كومة حصويات في مركز انتشار المزيج، وبالتالي يمكن أخذ مؤشر الثبات المرئي VSI=2، كما تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم، فقد كان منحني (اجهاد–تشوه ξ–σ) وفق الشكل التالي رقم (12).

الجدول رقم (6) خصائص الخلطات البيتونية المخبرية عند عيار اسمنت 500 Kg/m3

خصائص قابلية التشغيل	الملدن	HRW	SIKAMENT	الحدود المقبولة
	الوحدة	الخلطة الأولى	الخلطة الثانية	
هطول الانسياب	cm	52	54	55–65
زمن الانسياب	sec	4.86	7.58	–
J–ring	$(D_J\%)$	96%	89%	$\geq 80\%$
اختبار الانفصال	(SR%)	4.06%	5.68%	$\leq 15\%$
VSI	–	VSI=1	VSI=2	–

كما يوضح الشكل رقم (12) ادناه منحنيات (اجهاد–تشوه ξ–σ) للخلطات المختبرة المذكورة أعلاه:



الشكل رقم (12) منحنيات (اجهاد–تشوه ξ–σ) لعينات SCC المختبرة عند عيار اسمنت 500 Kg/m3

3-8 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمنتي 450 kg/m3:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 450 kg/m3، نسبة $\frac{W}{C} = 0.39$ ثابتة، ونوعين من الملدانات (HRW,SIKAMENT)، كما موضح بالشكل رقم (13)، لم تستجب الخلطات حتى عند نسبة ملدن 2.5%، فلم تعطي أي من الخلطات الخواص المثالية لقابلية التشغيل التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع لذلك تم استبعاد هذه النسب.

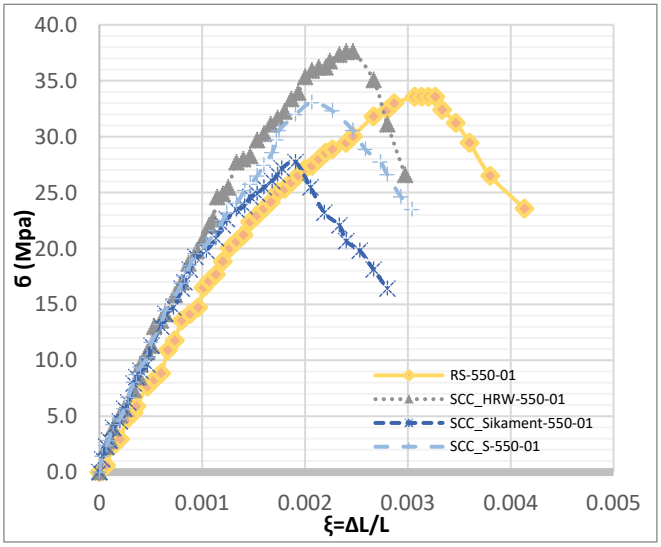
الشكل رقم (13) المزيج البيتوني التجريبي ذي المحتوى الاسمنتي450 kg/m3

4-8 الخلطات المرجعية:

وهي الخلطة المتشكلة من نفس نسب وأوزان الحصويات والمواد الاسمنتية المستخدمة في انتاج البيتون ذاتي التوضع SCC، بدون استخدام مواد اضافية محسنة، وذلك من أجل الحصول على بيتون تقليدي مرجعي، حيث استجابت الخلطة عند نسبة $\frac{W}{C} = 0.45$.

1-4-8 الخلطة المرجعية ذي المحتوى الاسمنتي 550 kg/m3:

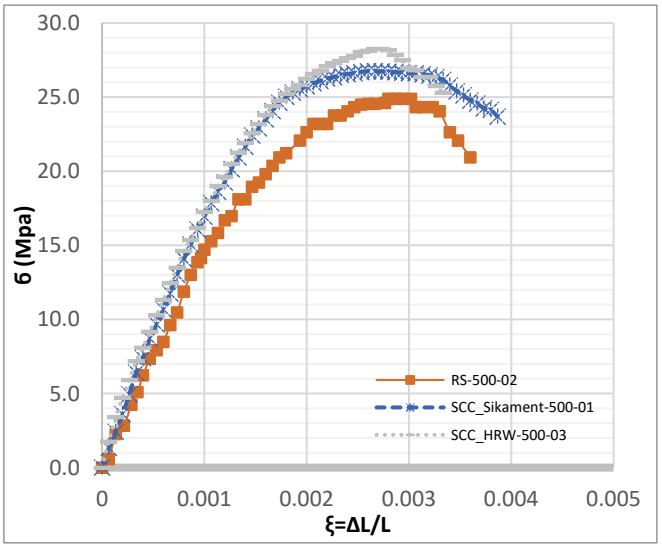
تم قياس منحني (اجهاد–تشوهε–σ) للعينات الاسطوانية على عمر28 يوم، ومقارنته مع منحنيات (اجهاد–تشوه ε–σ) للعينات المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع SCC من نفس عيار الاسمنت، كما موضح بالشكل رقم(14).



الشكل رقم (14) منحنيات (ξ–σ) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

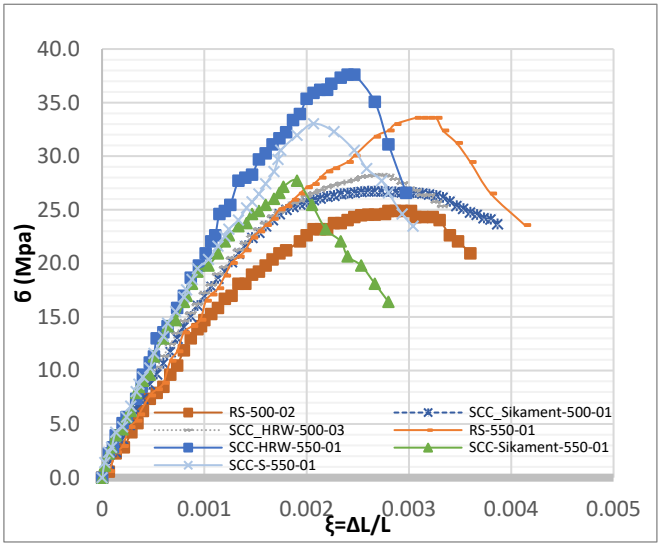
8–4–2 الخلطة المرجعية ذي المحتوى الاسمنتي 500 kg/m3:

يوضح الشكل أدناه رقم(15) منحنيات (اجهاد–تشوه ξ–σ) للعينات المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع SCC والبيتون المرجعي عند عيار الاسمنت 500 kg/m3.



الشكل رقم (15) منحنيات (ξ–σ) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيار اسمنت 500 Kg/m3

مما سبق يمكننا أن نوضح سلوك العينات البيتونية المصنوعة من البيتون ذاتي الدمك SCC محلية الصنع وسلوك عينات البيتون المرجعي، عند عيارات أسمنت ونسب ملدن المختلفة في الشكل رقم (16) ادناه:



الشكل رقم (16) منحنيات (ξ–σ) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيارات الأسمنت المختلفة

9- المناقشة والاستنتاجات:

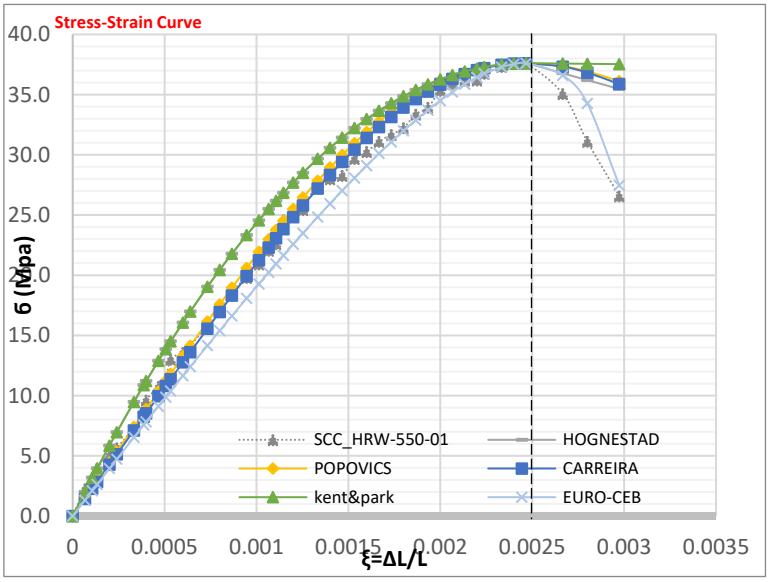
يمكننا أن نستنتج من التجارب المخبرية على خلطات SCC والبيتون المرجعي التالي:

- استعمال الملدن كمضاف كيميائي للمزيج البيتوني ذاتي التوضع تمكنا من تخفيض نسبة W/C ضمن الخليط حتى 13% مقارنة مع البيتون المرجعي، مما أنعكس إيجاباً على مقاومة البيتون.
- وفقاً للمنحنيات الموضحة بالشكل رقم (14) نلاحظ الزيادة في مقاومة الضغط البيتونية عند انتاج بيتون ذاتي التوضعSCC محلي الصنع بعيار اسمنت (550 kg) وباستخدام ملدن HRW، تصل حتى (12%) مقارنة مع البيتون المرجعي.
- وفقاً للمنحنيات الموضحة بالشكل رقم (16) نلاحظ زيادة في مقاومة الضغط البيتونية للبيتون ذاتي التوضعSCC محلي الصنع، تصل حتى (35%) عند استخدام نسبة (2%) من الملدن HRW، مقارنة مع نفس النسبة من الملدن SIKAMENT.
- كما نجد أن استخدام نسبة مقدارها (2%) من الملدن HRW عند عيار أسمنت (550kg/m3)، أعطت معدل زيادة في المقاومة على الضغط تصل حتى (33%)، مقارنة مع نسبة (2.5%) عند عيار أسمنت (500kg/m3) من نفس الملدن.

- من الناحية الإقتصادية فأن فارق التكلفة بسيط ولا يذكر، بأستخدام عيار أسمنت (550kg/m3) مع نسبة ملدن (2%) من وزنه، مقارنة مع عيار أسمنت (500kg/m3) مع نسبة ملدن (2.5%) من وزنه، لكن خواص قابلية التشغيل كانت أفضل للخلطة البيتونية ذات العيار الأكبر.

10- دراسة سلوكية لعينات البيتون المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع SCC:

للتحقق من السلوك الإجهادي–التشوهي للعينات المختبرة، تم إجراء مقارنة سلوكية تتمثل بمنحنيات (ε–σ) والتي تم استنتاجها من أبحاث ودراسات سابقة، الشكل رقم(17)، كمنحنيات HOGNESTAD, POPOVICS, CARREIRA وغيرها، ومن ثم قياس نسبة التقارب بينها وبين المنحنيات التجريبية واستنتاج المنحني الأقرب الذي يوصف الحالة السلوكية للمادة.



الشكل رقم (17) منحنيات (ε–σ) لعينات SCC ومنحنيات الدراسات المرجعية

المناقشة: مما سبق نلاحظ وجود تقارب كبير بين منحنيات (ε–σ) الدراسات السابقة المرجعية وبين منحني SCC خاصة في الجزء الصاعد من المنحني εc < εco فقد

تجاوزت نسبة التقارب 80%، بينما هذا الأمر يختلف في جزء المنحني الهابط $\varepsilon c > \varepsilon co$ حيث نجد الاختلاف كبير ومتفاوت بين منحنيات (ε-σ)، وقد أعطت المقارنة بأن أقرب منحني يوصف سلوك SCC محلي الصنع، هو منحني POPOVICS بجزئه الصاعد ومنحني الكود الاوربي EURO-CEB بجزء المنحني الهابط.

11- النتائج:

- القدرة على إنتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) SCC من المواد المحلية، باستخدام الاسمنت فقط ممثلاً عن الاضافات الناعمة المالئة الأخرى، ذو انسيابية فائقة، متماسك ومتجانس، وذو مقاومة عالية نسبياً بالحالة الصلبة.
- إمكانية إنتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) SCC محلياً، باستخدام الأضافات المقللة للماء ذات جودة عالية، مما ساهم بانخفاض النسبة W/C حتى 13% وأنعكس إيجاباً على قابلية تشغيل الخليط ومقاومة البيتون بحالته الصلبة.
- القدرة على تحديد الخواص الإجهادية والتشوهية من خلال تمثيل سلوك البيتون ذاتي التوضع (الدمك) محلي الصنع بيانياً بمنحنيات إجهاد-تشوه (ε-σ).
- التحسن في السلوك الاجهادي للعينات المصنوعة من SCC مقارنة مع البيتون المرجعي يصل وسطياً حتى نسبة 12%، وتحسن السلوك التشوهي يصل وسطياً حتى نسبة 16.8%.

12- المراجع العلمية:

[1] ACI Committee, 2007-**Self-Consolidating Concrete, Emerging Technology Series**, American Concrete Institute, ACI 237R-07 First Printing, U.S.A, 34p.

[2] AL-HARIRI. S and ALAEED. M, 2013-**Technology of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete (SCC) by Using Local Materials and Its Importance in Construction Industry**, Master Thesis, Damascus University, Syria, 153p. (In Arabic)

[3] ASTM, 2003-**Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**, Annual Book of ASTM Standard American Society for Testing and Materials, C 494 – 03, United States, Vol: 04.02.

[4] ASTM, 1999-**Standard Specification for Concrete Aggregates**, American Society for Testing and Materials, C 33–99ae1, United States, 8p.

[5] ASTM, 2007-**Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**, American Society for Testing and Materials, C 192/C 192M-02, United States, 8p.

[6] BIBM CEMBUREAU EFCA EFNARC and ERMCO, 2005-**The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use**, SCC European Project Group, SCC 028, European Federations, 68p.

[7] Jianjie Yu, 2016 - Research on the Mechanical Properties of Self-compacting Waste Rubberised Aggregate Concrete, **International Conference on Civil, Transportation and Environment**, (2016).

[8] Selvi.K, T.Mahendran and N.Atthikumaran, 2016 - Experimental Investigation on Modulus of Elasticity of Self-Compacting Concrete, **Journal of Applied Physics and Engineering (JAPE),** Vol.1, No.2 (2016), p:5-8.

[9] The Syrian Arab Code, 2012-**The design and implementation the construction by reinforced concrete**, Syrian Engineers Association, Fourth Edition, Damascus, Syria, 402p. (In Arabic)

[10] The Syrian Arab Code, 2016-**Guidelines for the Strengthening and Rehabilitation of Existing Buildings and Structures for Earthquake Resistance**, Syrian Engineers Association, First Edition, Annex (4), Damascus, Syria, 295p. (In Arabic)

[11] TIMO. W, 2003 -FRESH PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC), **Otto – Graf Journal**, Vol.14. (10), p:179-188.