دراسة تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية على مقاومة البيتون ذاتي التوضع للأوساط الحامضية

الأستاذ الدكتور المهندس علي خيربك*

الدكتورة المهندسة لما سعود**

المهندس غدير علي ابراهيم***

الملخص:

تُعتبر البوزولانا من المواد الطبيعية مثل الرماد البركاني وبعض الترب المحتوية على أكاسيد السيليكون المتبلور. ويقتصر وجودها على بعض البلدان في العالم ومنها سوريا. صنّف الدليل الأوربي للبيتون ذاتي التوضع المواد البوزولانية من الإضافات التي تحسن من الخصائص الريولوجية للبيتون والتي ترتبط بالتشغيل والجريان ومقاومة الانفصال الحصوي، وتزيد من ثبات البيتون في حالته الطرية، إذ تخفض حركة الماء ضمن البيتون الطري كما تحمي من حصول ظاهرة النزف فيه. يركز هذا البحث على دراسة تحسين خصائص الديمومة للبيتون ذاتي التوضع بإضافة البوزولانا الطبيعية السورية بنسب مختلفة، وذلك باعتماد إحدى معايير الديمومة والتي تتمثل بمقاومة البيتون لتخرب بنيته بفعل الهجوم الحمضي. ولإنجاز ذلك قمنا بتصميم خلطات بيتونية تختلف فيما بينها بنسب إضافة البوزولانا الطبيعية، وقياس بارامترات التأثر بالأحماض كتغير مظهر العينات، وفقدان الكتلة، وفقدان المقاومة وذلك بمقارنة قياس تأثر عينات لم يتم فيها استخدام البوزولانا الطبيعية، وعينات أخرى استخدمت فيها بنسب إضافة مختلفة. توصّل البحث إلى أنّ استخدام البوزولانا الطبيعية في البيتون ذاتي التوضع يؤثر بشكل واضح على ديمومته ومقاومته للغمر بالأحماض، إذ تبين أن إضافة البوزولانا بمعدل $125kg/m^3$ يزيد من ديمومة البيتون من خلال الفقدان الطفيف للمقاومة مقارنة ببيتون

لم تستخدم فيه البوزولانا الطبيعية، مع تسجيل الحد الأدنى أيضاً لفاقد الكتلة بالاهتراء بعد الغمر بمحلول حمضي من حمض الكبريت.

الكلمات المفتاحية: البيتون ذاتي التوضع، ديمومة البيتون، البوزولانا الطبيعية، مقاومة الأحماض، فاقد الكتلة، فاقد المقاومة.

---

* أستاذ في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

** مدرس في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

*** طالب ماجستير في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سوريا.

A study of the effect of adding Syrian natural pozzolana On the resistance of concrete to acidic media

Prof. Dr. Eng. Ali Kheirbek*
Dr. Eng. Lama Saoud**
Eng. Ghadeer Ali Ibrahim***

Abstract

Pozzolana is a naturally occurring substance such as volcanic ash and some soils containing crystalline silicon oxides. Its presence is limited to some countries in the world, including Syria. The European guide for Self-Compacting Concrete classified pozzolanic materials as additives that improve the rheological properties of concrete and its related to operation, flow and resistance to gravel separation, and increase the stability of concrete in its soft state, it reduces the movement of water within the soft concrete and protects against the occurrence of bleeding in it. This research focuses on the study of improving the durability properties of Self-Compacting Concrete by adding natural Syrian pozzolana in different proportions, by adopting one of the criteria for durability, which is the resistance of the concrete to being destroyed by the acid attack.,To achieve this, we designed concrete mixtures that differ among themselves in the proportions of adding natural pozzolana, and measured the acid-susceptibility parameters such as changing the appearance of the samples, loss of mass, and loss of resistance by comparing with measuring the susceptibility of samples in which natural pozzolana was not used, and other samples in which different addition rates were used. The research concluded that the use of natural pozzolana in Self-Compacting Concrete clearly affects its durability and resistance to immersion in acids, as it was found that adding pozzolana at a rate of 125 kg/m^3 increases the durability of concrete through a slight loss of resistance compared to concrete in which natural pozzolana was not

used, while also recording the minimum mass loss by wear after immersion in an acidic solution of sulfuric acid.

Key words: Self-Compacting Concrete, permanence of concrete, natural pozzolana, Acid resistance, loss of mass, loss of resistance.

* Professor, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
** Teacher, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
*** Master Degree, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

- مقدمة:

تعتبر مقاومة البيتون للعوامل الخارجية المخربة وديمومته الجيدة أحد أهم الاعتبارات للحفاظ على العناصر الإنشائية من الاهتلاك والتخريب درءاً لأي مخاطر قد تهدد المنشآت البيتونية، ولم يتردد الباحثون عن الخوض في دراسة تحسين مقاومة البيتون وتحسين ديمومته ومواصفاته الميكانيكية. ومع التطور العمراني والصناعي الهائل، تسارعت الأبحاث العلميّة بشكلٍ مكثّف للبحث والاستقصاء الدقيق عن تطوير خصائصه ومواصفاته العملية، الأمر الذي شجّع على إيجاد أساليب جديدة لاستعمال مواد البناء المتوفّرة محليّاً في إنتاج بيتون مقاوم للأحماض والمواد المخربة الأخرى بما يتوافق مع الاشتراطات والمواصفات العالمية. وهو ما دفع للقيام بهذا البحث الذي سيتطرق إلى تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية للبيتون ذاتي التوضع على ديمومته ومقاومته للأحماض باعتبار أن هذه المادة متوفرة بكميات كبيرة في سوريا، استثمر منها على مدى العقود الماضية جزء بسيط جداً في صناعة الاسمنت.

1-1- البيتون ذاتي التوضع (Self-Compacting Concrete SCC):

هو البيتون الذي يتميز بقابليته العالية للجريان وعدم الانفصال وإمكانية الانتشار وملء القالب وتغليف التسليح دون الحاجة إلى أي عملية رج ميكانيكي [1]. وهو بيتون عالي التشغيل يمكنه الجريان عبر التسليح الكثيف أو العناصر الإنشائية المعقدة تحت تأثير وزنه الذاتي حيث يملأ الفراغات دون فصل للحبيبات وذلك دون الحاجة لأي عملية رج من أجل تجانسه وتسوية سطحه [2].

يمكن تلخيص أهم إيجابيات البيتون ذاتي التوضع بما يلي [3]:

- تحقيق جودة عالية وتجانس في البنية كيفما كان شكل العنصر الإنشائي، ومهما زادت كثافة تسليحه.
- تخفيض العمالة والمعدات والتوفير في تكاليفها.
- عدم الحاجة للرجاجات الآلية أو اليدوية لتحقيق الاكتناز المطلوب وعمليات إنهاء وتسوية السطوح العلوية.

- تسريع عملية التشييد من خلال الإنتاجية العالية في معدلات الصب واختصار زمن الرج واختصار نقاط تمركز المضخة وتحركها ضمن الموقع وسهولة وصول الجبالات مما سيؤدي إلى توفير في الوقت والموارد.
- تخفيض مستوى الضجيج في المشروع من خلال عدم تشغيل الرجاجات الآلية مما سينعكس إيجاباً على عمليات تواصل الأشخاص ضمن الورشة.

2- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث بشكلٍ رئيسيّ إلى دراسة تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية إلى البيتون ذاتي التوضع كبديل عن المواد المستوردة غالية الثمن كهباب السيليس وغيرها من الإضافات معدلات اللزوجة، وتأثير ذلك على الخصائص الميكانيكية وخصائص الديمومة للبيتون ذاتي التوضع.

تتركز أهميّة البحث في التحقق من مدى جودة وكفاءة هذه المادة الطبيعية الموجودة بكثرة في سورية من خلال استخدامها في البيتون ذاتي التوضع ودراسة مقاومته للتأثيرات الحمضية، وبالتالي تأمين ديمومة عالية للبيتون ذاتي التوضع باستخدام مواد ذات منشأ محلي.

على الرغم من تواجد البوزولانا الطبيعية بكثرة في بلادنا، ما زلنا إلى يومنا هذا نستورد مواد يمكن أن تكون البوزولانا بديلاً لها كهباب السيليس والرماد المتطاير والإضافات المعدلة للزوجة، وهي مواد غالية الثمن مقارنة بسعر البوزولانا الطبيعية التي يمكن أن تعمل على معالجة الكثير من عيوب البيتون التقليدي كانفصال الحصويات والنزف والانكماش والتأثر بالبيئة المخربة.

3- طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التجريبية في إجراء البحث من خلال اعتماد نسب إضافة مختلفة للبوزولانا الطبيعية ودراسة تأثير هذه الإضافة على الخصائص الميكانيكية كالمقاومة على الضغط البسيط، وخصائص الديمومة من خلال مقاومة الأوساط الحمضية وقياس الظواهر المرافقة لهذا التأثير كفقدان الكتلة والمقاومة الميكانيكية.

تمّ إحضار البوزولانا من منطقة السويداء وطحنها لنعومة قريبة من نعومة الإسمنت في مخبر معمل إسمنت طرطوس.

أما المواد التي تم استخدامها في هذا البحث فكانت:

أ- حصويات طبيعية بمقاسات مختلفة من مقالع حسياء بمعامل اهتراء وفق لوس أنجلوس LA =12,18%.

ب- رمل خشن D_{max}=5mm من مقالع حسياء معامل نعومته 4.19 بمكافئ رملي ES=86%، و كتلة حجمية صلبة ρ_s=2,71g/cm^3.

ج- رمل ناعم D_{max}=1mm من مقالع الصنوبر معامل نعومته 1.39، بمكافئ رملي ES=83%، و كتلة حجمية صلبة ρ_s=2,55 g/cm^3.

د- بوزولانا طبيعية من منطقة تل شيحان في السويداء: بنعومة قريبة من نعومة الاسمنت ودليل فعالية 89%، كتلة حجمية صلبة.ρ_s=2,6g/cm^3 . ونعومة قريبة من نعومة الاسمنت.

هـ- إسمنت بورتلاندي عادي أسود من النوع الأول Type I إنتاج معمل إسمنت طرطوس بصنف 32,5.

و- ماء للجبل: صالح للشرب.

ز- ملدن عالي الأداء محلي الصنع من شركة آيلا السورية (Flocrete SP100) مصنع وفق المواصفات القياسية السورية درجة اشباعه 2% من وزن الاسمنت.

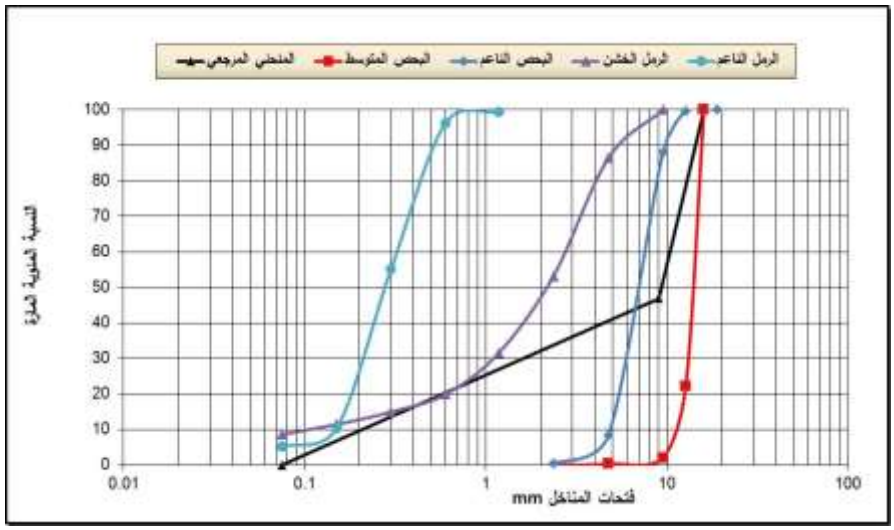
يمكن تقسيم العمل المخبري إلى المراحل الآتية:

- فرز الحصويات للحصول على قطر أعظمي يتوافق مع متطلبات صناعة البيتون ذاتي التوضع [4].
- توصيف الإحضارات الطبيعية من خلال إجراء الاختبارات اللازمة عليها (التدرج الحبي، قياس الكتلة الحجمية الظاهرية والكتلة الحجمية الصلبة، قياس معامل الاهتراء وفق لوس انجلوس، قياس المكافئ الرملي، درجة الاشباع للملدن، دليل الفعالية للبوزولانا الطبيعية).

- تصميم الخلطة البيتونية المناسبة باستخدام الطريقة الفرنسيّة (Dreux-Gorisse) [5] مع الأخذ بعين الاعتبار المتطلبات الخاصة للبيتون ذاتي التوضع.
- صب عينات البيتون وفق نسب الإضافة المختلفة ودراسة تأثر الخصائص الميكانيكية وخصائص الديمومة وفق نسب الإضافة.

3-1- توصيف الإحضارات:

يبين الشكل (1) منحنيات **التدرج الحبي للحصويات** المختلفة التي تمّ مزجها والمنحني المرجعي وفق الطريقة الفرنسية (Dreux-Gorisse) المستخدمة في تصميم الخلطات البيتونية حيث تراوح قطر الحصويات المتوسطة بين 4.75مم و16مم، والحصويات الناعمة بين 2.36مم و12.7مم، والرمل الخشن بين 0.01مم و5مم، والرمل الناعم بين 0.01مم و1مم.



الشكل (1) منحنيات التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

أجريت اختبارات **الكتلة الحجمية الظاهرية والصلبة** ومعامل **لوس أنجلوس والمكافئ الرملي** للحصويات المستخدمة. يبين الجدول (1) نتائج هذه الاختبارات.

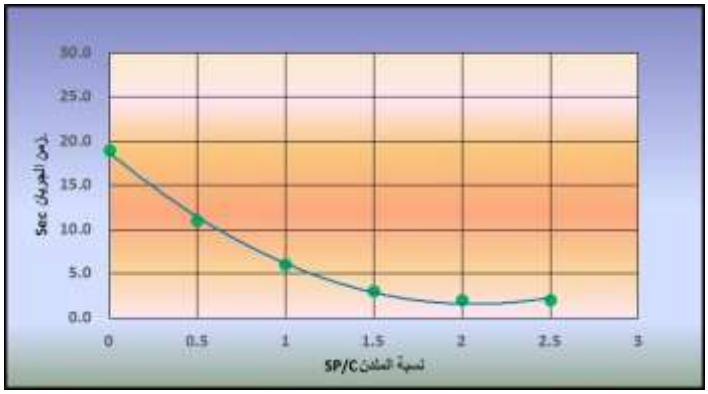
الجدول (1) قيم الكتل الحجمية ومعامل الاهتراء للحصويات المختبرة

العينة	الكتلة الحجمية الظاهرية Kg/l	الكتلة الحجمية الصلبة Kg/l	عامل الاهتراء وفق لوس أنجلوس %	المكافئ الرملي (%)
البحص المتوسط	1.45	2.74	12.18	-
البحص الناعم	1.46	2.7		-
الرمل الخشن	1.5	2.71	-	86
الرمل الناعم	1.5	2.6		83

تُقبَل هذه القيم للاستعمال في إنتاج البيتون ذاتي التوضع حسب الدليل الأوربي للبيتون ذاتي التوضع [4].ولحساب **درجة الإشباع بالملدن** والذي يدل عليه زمن الجريان قمنا باستخدام جهاز المانيابيليمتر للمونة الاسمنتية الطرية قبل صبها في القوالب (يمكن لجهاز المانيابيليمتر قياس زمن جريان المونة الاسمنتية ضمن حيز مقطعه مستطيل تجري ضمنه المونة الإسمنتية بفعل رجاج داخلي بعد نزع الحاجز حتى تصل إلى خط مرجعي في نهاية المقطع المستطيل فيكون زمن الجريان هو زمن وصول المونة إلى هذا الخط.)، وقمنا بتركيب خلطات مختلفة من المونة اسمنتية تختلف فيما بينها بنسبة الملدن المضافة، وكانت النتائج كما في الجدول (2) والشكل (2):

الجدول (2) قيم زمن جريان المونة لحساب نسبة الإشباع بالملدن

مكونات الخلطات						
رمز الخلطة	0	0.5	1	1.5	2	2.5
رمل ناعم(gr)	1350	1350	1350	1350	1350	1350
ماء (gr)	270	270	270	270	270	270
اسمنت(gr)	450	450	450	450	450	450
ملدن(gr)	0	2.25	4.5	6.75	9	11.25
نسبة الملدن % (SP/C)	0	0.5	1	1.5	2	2.5
زمن الجريان (sec)	19	11	6	3	2	2



الشكل (2) قيم زمن جريان المونة ونسبة الإشباع بالملدن

ثبتت نتائج زمن الجريان عند 2 ثانية بجهاز المانيابيليمتر عند إضافة ملدن بنسبة إشباع تعادل 2% من وزن الاسمنت.

تم حساب **دليل فعالية البوزولانا** المستخدمة بشكل تجريبي مخبرياً حيث قمنا بصب مواشير من المونة النظامية بخلطتين، الأولى بدون بوزولانا، والثانية باستبدال 25% من وزن الاسمنت بالبوزولانا لنقوم بقياس مقاومتها على الضغط البسيط للوصول إلى دليل فعالية البوزولانا الطبيعية.

يُعطى دليل الفعالية i بالعلاقة:

$$\mathrm{i} = \frac{fc}{fc_0}$$

حيث fc مقاومة المونة مع البوزولانا على الضغط البسيط، وfc_0 مقاومة المونة النظامية بدون البوزولانا على الضغط البسيط.

بلغت قيمة دليل فعالية البوزولانا المستخدمة 0.89

3-2- تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع:

تم اعتماد الطريقة الفرنسيّة (Dreux-Gorisse) في تصميم الهيكل الحصوي لخلطات البيتون ذاتي التوضع. تم تثبيت محتوى الإسمنت بمعدل $C=400Kg/m^3$ وتم اعتماد المقاومة التصميميّة $Rc=200Kg/cm^2$، حصلنا على ست خلطات للبيتون ذاتي التوضع بمحتوى إضافة مختلف للبوزولانا يتراوح بين 0 و $200Kg/m^3$:

.Pozz=50, 100, 125, 150, 200Kg/m^3

نبين في الجدول 3 تركيب خلطات البيتون ذاتي التوضع الخمس التي تم تصميمها في هذا البحث.

الجدول (3) التصاميم الوزنية لخلطات البيتون ذاتي التوضع وفق Dreux-Gorisse

مكونات الخلطات الحصوية						
رمز الخلطة	C0P	C50P	C100P	C125P	C150P	C200P
البحص المتوسط (kg/m^3)	557	540	523	515	506	489
البحص الناعم (kg/m^3)	315	306	296	292	287	277
الرمل الخشن (kg/m^3)	394	382	370	364	359	347
الرمل الناعم (kg/m^3)	456	442	428	421	414	401
الإسمنت (kg/m^3)	400	400	400	400	400	400
البوزولانا (kg/m^3)	0	50	100	125	150	200
الملدن (kg/m^3)	8	8	8	8	8	8
الماء (kg/m^3)	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9

3-3- تحضير عينات البيتون المصبوب مخبرياً والتحقق من اشتراطات البيتون ذاتي التوضع:

بعد صب الخلطات البيتونية الخمس تم إجراء اختبارات المطابقة على البيتون الطري للتأكد من تحقيقه مؤشرات البيتون ذاتي التوضع وهي:

- قياس قدرة البيتون على الجريان (L-Box).
- قياس قدرة البيتون الطري على الانتشار (قطر الانتشار).
- قياس مقاومة البيتون الطري للانفصال الحبيبي (الاستقرار على المنخل).

يوضح الجدول (4) نتائج الاختبارات الريولوجية للبيتون الطري للخلطات الخمس المنفذة، والتي يظهر من خلالها تحقيق اشتراطات البيتون ذاتي التوضع وفق الدليل الأوروبي للبيتون ذاتي التوضع [4]. كما يوضح الشكل (3) جانباً من اختبارات التحقق من اشتراطات البيتون ذاتي التوضع.

الجدول (4) نتائج الاختبارات الريولوجية للبيتون الطري للخلطات الخمس المنفذة

رمز الخلطة	محتوى البوزولانا kg/m^3	قطر الانتشار Cm	نسبة الملاط العابر %	H2/H1 L-Box
C0P	0	55	15	80
C50P	50	61	7.5	86
C100P	100	62	4.36	87
C125P	125	64	0.3	92
C150P	150	62	2.6	90

الشكل 3a قطر الانتشار

الشكل 3b قابلية الجريان (L-Box)

الشكل 3c الاستقرار على المنخل

3-4- صب العينات وتحضيرها لاختبارات الديمومة:

تم صب عينات مكعبية بأبعاد 10*10*10سم دون إجراء أية عمليات رج بعد الصب. بلغ عدد العينات المصبوبة ست وثلاثون عينة بمعدل ست عينات لكل خلطة مصممة. يبيّن الشكل (4) نماذجاً لعيّنات البيتون ذاتي التوضع المصبوبة خلال البحث.

الشكل (4) نماذج من العينات المصبوبة من البيتون ذاتي التوضع

تم فك القوالب وبعد 28 يوم من تاريخ الصب تم تقسيم العينات إلى قسمين بمعدل ثلاث عينات من كل تصميم لاختبارها على الضغط البسيط، وثلاث عينات لغمرها بمحلول حمض الكبريت الممدد بتركيز 2%. بقيت العينات مغمورة بالمحلول الحمضي لمدة سبعة أيام، تم نقل العينات بعدها من أوعية الغمر إلى الهواء، وفي اليوم التالي تم إزالة الطبقات المتخربة وتم اختبار مقاومة العينات على الضغط البسيط مع قياس أوزانها.

4- النتائج والمناقشة:

حقّقت جميع خلطات البيتون ذاتي الارتصاص المحضرة اشتراطات المطابقة في الحالة الطرية من حيث قطر الانتشار وقابلية الجريان في العلبة L-Box والاستقرار في المنخل فيما يتعلق بتقارب قيم قطر الانتشار عند زيادة نسبة البوزولانا كانت النتائج واقعية ومنطقية كون زيادة محتوى البوزولانا في البيتون ترافق معه نقصان في محتوى الحصويات مما جعل حجم العجينة الرابطة أكبر وهو ما عمل على الحصول على قطر انتشار مقبول. كما حققت في الحالة الصلبة قيماً للمقاومة على الضغط البسيط بعمر 28day تجاوزت الـ $280kg/cm^2$ قبل الغمر بالأحماض، وقيماً تجاوزت الـ

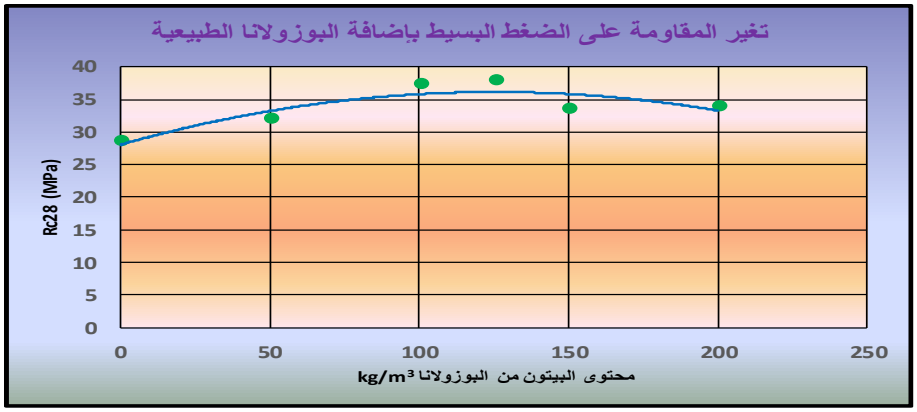
$200kg/cm^2$ بعد الغمر بالأحماض، إذ لم يتجاوز فاقد للمقاومة بعد الغمر بالأحماض النسبة 27.6%، أما فاقد كتلة البيتون بعد الغمر بالأحماض فلم يتجاوز النسبة 3.18%، حيث ظهر بشكل جلي تأثير إضافة البوزولانا على ديمومة البيتون ومقاومته للأوساط الحمضية كما هو مبين في الجدول (5)

الجدول (5) المقاومة على الضغط البسيط وفاقد المقاومة والكتلة للعينات قبل وبعد الغمر بالأحماض

الخلطة	المقاومة قبل الغمر بالحمض (Mpa)	المقاومة بعد الغمر بالحمض (Mpa)	فاقد المقاومة قبل وبعد الغمر (%)	فاقد الكتلة قبل وبعد الغمر (%)
C0P	28.42	20.6	27.6	3.18
C50P	31.85	26.5	16.9	2.02
C100P	37.24	32.3	13.2	1.78
C125P	37.73	34.3	9.1	1.39
C150P	33.32	30.4	8.8	1.7
C200P	33.81	25.5	24.6	2.2

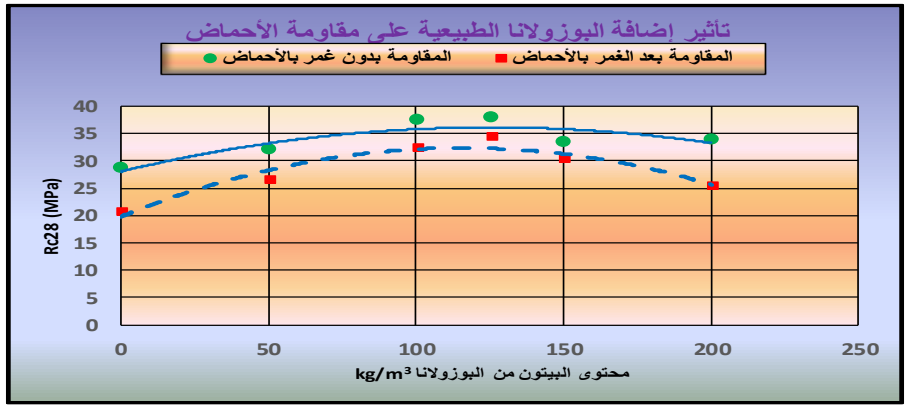
تبين النتائج أن الخلطة المثلى التي تعطي أفضل النتائج من حيث المقاومة الميكانيكية ومقاومة الأحماض كانت الخلطة **C125P**، حيث حققت أعلى قيمة مقاومة على الضغط البسيط قبل الغمر بالحمض وبلغت 37.73Mpa.

يبين الشكل (5) تأثير محتوى البوزولانا على مقاومة الضغط البسيط والذي يظهر فيه زيادة المقاومة عند المحتوى $125Kg/m^3$ (المتوافق مع **C125P**) حوالي 32.7% مقارنة بالمقاومة المرجعية عند المحتوى $0Kg/m^3$ (المتوافق مع **C0P**).



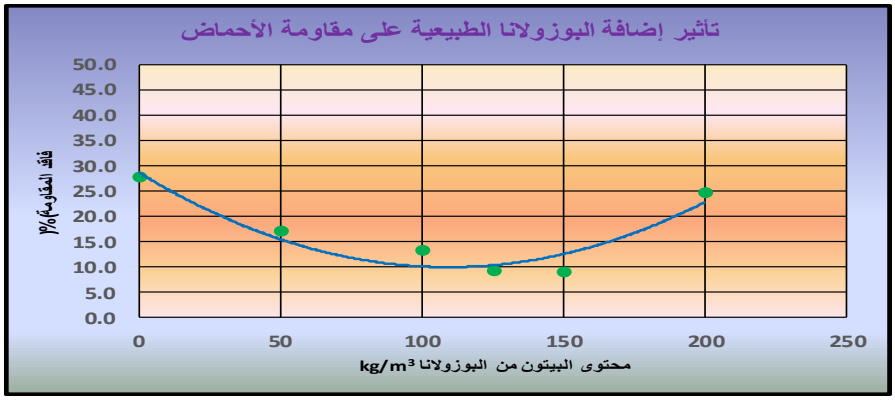
الشكل (5) العلاقة بين مقاومة البيتون على الضغط البسيط ومحتوى البوزولانا

كما حققت الخلطة **C125P** أعلى قيمة للمقاومة على الضغط البسيط بعد الغمر بالحمض والتي بلغت 34.3Mpa. يبين الشكل (6) تأثير محتوى البوزولانا على مقاومة الضغط البسيط للعينات المغمورة بالحمض والذي يظهر فيه زيادة المقاومة عند المحتوى $125Kg/m^3$ (المتوافق مع **C125P**) حوالي 66.5% مقارنة بالمقاومة المرجعية عند المحتوى $0Kg/m^3$ (المتوافق مع **C0P**).



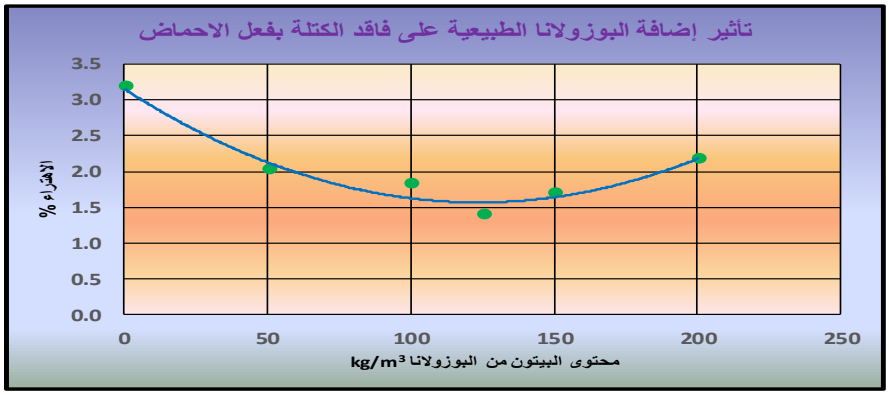
الشكل (6) العلاقة بين مقاومة البيتون على الضغط البسيط ومحتوى البوزولانا بعد الغمر بالحمض

أما بالنسبة لفاقد مقاومة البيتون على الضغط البسيط قبل وبعد الغمر بالحمض فقد أعطت الخلطة C125P أقل قيمة فاقد للمقاومة إذ بلغت 9.1 % كما هو موضح بالشكل (7).



الشكل (7) العلاقة بين فاقد المقاومة على الضغط ومحتوى البوزولانا قبل وبعد الغمر بالأحماض

كذلك حققت الخلطة C125P أقل قيمة لفاقد كتلة البيتون بعد الغمر بالحمض إذ بلغت نسبة الفاقد 1.39% مقارنة مع القيمة 3.18% للعينة المرجعية ذات المحتوى $0Kg/m^3$ (المتوافق مع **C0P**) كما هو موضح بالشكل (8).



الشكل (8) العلاقة بين فاقد الكتلة ومحتوى البوزولانا قبل وبعد الغمر بالأحماض

تبين النتائج أن نسبة المحتوى المثالية من إضافة البوزولانا الطبيعية لخصائص المقاومة على الضغط البسيط كان $Pozz=125kg/m^3$. وبعد هذه العينة بدأت المقاومة بالتناقص لانخفاض الفعل البوزولاني عند استهلاك كامل الكلس الحي cao من الاسمنت.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1. الاستنتاجات:

1- تمثل إضافة البوزولانا الطبيعية في البيتون ذاتي التوضع كمادة ناعمة إضافة إلى الاسمنت وفراً اقتصادياً هاماً كون هذا النوع من البيتون يحتاج إلى كمية زائدة من المواد الناعمة مقارنة بالبيتون التقليدي [4] .إذ أثبت البحث أن أفضل محتوى بوزولانا كان عند الخلطة C125P ليصبح محتوى المواد الناعمة ($C+Poz=525Kg/m^3$).

2- بلغت قيمة المقاومة على الضغط البسيط بعمر 28 يوماً 37Mpa لنسبة الإضافة المثلى من البوزولانا، وبلغت بعد غمرها بالأحماض عند هذا المحتوى القيمة 34Mpa. ممّا يُعتبر مؤشراً جيداً للتأثير الإيجابي لإضافة البوزولانا إلى البيتون ذاتي التوضع على كل من المقاومة على الضغط البسيط والديمومة.

3- أثبتت النتائج أن هذا المحتوى من البوزولانا يحقق أيضاً أفضل النتائج لفاقد الكتلة بعد الغمر بالحمض والذي لم يتجاوز الـ 1.39%، مقارنة بالقيمة 3.18% للعينة المرجعية ذات المحتوى $0Kg/m^3$ ممّا يؤكد للتأثير الجيد لإضافة البوزولانا إلى البيتون ذاتي التوضع وحمايته من الاهتراء.

4- يقدم استخدام البوزولانا الطبيعية وفراً اقتصادياً هاماً إذا ما علمنا أنه يمكن أن يكون بديلاً جيداً يحل مكان إضافات أخرى يحتاجها البيتون ذاتي التوضع كهباب السيليس والإضافات رافعة اللزوجة [6]،[7] .

5-2. التوصيات:

1- يوصي البحث باعتماد البوزولانا الطبيعية السورية كإضافة هامة لصناعة البيتون ذاتي التوضع في المشاريع الانشائية وخاصة المنشآت التي ستتعرض للظروف المخربة كونها تحقق مقاومة جيدة للبيتون في الأوساط المخربة وديمومة أعلى.

2- من الضروري تخصيص مراكز خاصة لطحن البوزولانا الطبيعية وتحويلها إلى منتج داعم للإسمنت في عمليات صب البيتون.

3- نرى من الأنسب اهتمام الجهات الحكومية والنقابات والمراكز البحثية ذات الصلة بإطلاق المشاريع الهندسية لتطوير صناعة البيتون ذاتي التوضع واعتماده كرديف أساسي للبيتون التقليدي لتوفر كل مستلزمات إنتاج هذا البيتون الحديث من مواد محلية المنشأ وأهمها البوزولانا الطبيعية السورية.

4- ننصح باستكمال البحث لتأكيد فاعلية البوزولانا في ديمومة البيتون ذاتي التوضع من خلال إدراج بارامترات الديمومة الأخرى كنفاذية البيتون للماء والهواء، ومقاومته لحلقات الصقيع والذوبان، والتسخين والتبريد، والترطيب والتجفيف.

المراجع المستخدمة:

1- American Concrete Institute, 2007, - ACI237R07 Self-consolidating concrete. USA.

2- Shikoku Island Concrete Research Association: Report by Self-Compacting Concrete Research Committee, 2000, - Self-Compacting Concrete in Shikoku Island. UK.

3-الحريري، صلاح الدين، 2013 – تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة من مواد محلية. جامعة دمشق، سوريا، 153.

4- BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC, 2005, - The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, production and Use. EU,68.

5- خيربك، علي؛ ترك، نوار 2013 منهجية جديدة لتحسين خلطات البيتون ذاتي التوضع، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية– سلسلة العلوم الهندسية، المجلد [35] العدد (8)، 57 – 61.

6- Mahmoud, E.; Ibrahim, A.; El-Chabib, H.; Patibandla, S.C. 2013 Self-Consolidating Concrete Incorporating High Volume of Fly Ash, Slag, and Recycled Asphalt Pavement, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol [7] No. 2, pp. 155 – 163.

7- خيربك، علي 2012 تأثير استخدام الفيلر على الخصائص الريولوجية للبيتون ذاتي الارتصاص، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية– سلسلة العلوم الهندسية، المجلد [34] العدد (2)، 29 – 43.