# معامل الفعالية البوزولانية للفلدسبار المحلي

أ.د. زين العابدين رؤوف أ.م.ندى مهدي فوزي

كلية الهندسة/جامعة بغداد

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة معامل الفعالية البوزولانية للفلدسبار المحلي المتواجد في مقالع قرب بحر النجف ومقارنته مع معامل الفعالية لدقيق السليكا المستورد.

تم استعمال الفلدسبار المطحون والمنعم الى (1200م2/كغم) بمقياس بلين (Blaine). وتم فحص الفعالية البوزولانية بموجب المواصفة الامريكية (ASTM C-311-02) حيث أظهرت النتيجة بان معامل الفعالية البوزولانية للفلدسبار (97%) مقارنة بـ(92%) لدقيق السليكا، والتي تشير الى أمكانية استخدام الفلدسبار المطحون كمادة بوزولانية نشطة في تحضير الخرسانة عالية الاداء والخرسانة عالية الرص.

## Pozzolanic Activity Index of local Feldspar

ABSTRACT

The paper presents an experimental research on pozzolanic activity index of local feldspar obtained from quarries near Al- Najaf lake in comparison an imported microsilica.

The feldspar in ground to a very fine powder (1200m2/kg) on Blaine scale. The experiments were made according to ASTM C-311-02. It is found that the pozzolanic activity index of local feldspar is (97%) compared to (92%)for microsilica, which indicates that feldspar can be used for making high performance or compact concrete..

الكلمات الرئيسية : البوزولانة، الفعالية البوزولانية، الفلدسبار، دقيق السليكا، الانسياب، درجة حرارة الحرق المثلى

## -المقدمة

إن مصطلح البوزولانا يطلق على المواد السليكية أو السليكية الألومينية والتي بحد ذاتها لا تمتلك الإمكانية السمنتية ولكنها عند إضافتها الى السمنت أو النورة (وبوجود الماء) وبشكل مسحوق دقيق التجزئة فإنها تتفاعل كيميائياً مع هيدروكسيد الكالسيوم لتكوّن مركبات تمتلك خصائص سمنتية. ويقصد بمعامل الفعالية النسبة بين مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم للنموذج الحاوي على المادة البوزولانية الى مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية بدون اضافة البوزولانا وحسب المواصفات الأمريكية ( ASTM C-311-02). ويجب أن يكون معامل الفعالية (Activity index) أكثر من 75 % عند استبدال جزء من السمنت وزناً ببوزولانا. وقد تم استخدام نوعين من البوزولانا في هذا البحث وهما دقيق السليكا وهي مادة بوزولانية فعالة وناتج عرضي لأفران انتاج السليكون، والنوع الثاني الفلدسبار المحلي . واجريت تجارب عديدة والتي دلت على ان معامل فعالية الفلدسبار تكافئ معامل فعالية دقيق السليكا واكثر منها بـ(5%).

## – استعراض البحوث السابقة

عرف الاتحاد الدولي لمختبرات فحوص المواد والبحوث المعروفة بـ(RILEM) الاداء بكونه دالة تصف سلوكية وحدات أو مادة إنشائية يمكن متابعتها بمرور الزمن، وعلى هذا الاساس يمكن تعريف الخرسانة عالية الاداء بكونها خرسانة تمتلك الأداء المطلوب وضمن المدة المطلوبة.كما أن الحاجة الى انتاج خرسانة ذات أداء متميز أدت بالباحثين الى محاولة استغلال مواد طبيعية أو صناعية لتحسين أداء الخرسانة ,من هذه المواد دقيق السليكا (microsilica) ورماد قشور الرز وخبث الافران المطحون والمنعم.

حيث أجرى **(Kakasoor 2000)** بحثاً حول نوع جديد من المواد التركيبية السمنتية الحاوية على نوعين من البوزولانا النشطة هما رماد قشور الرز ودقيق السليكا المعروفة تجاريا باسم (Z - process) مع استخدام ملدنات متفوقة. وحصل على نوعية محسنة من المواد التركيبية ذات مقاومة عالية جداً وبيّن أن قشور الرز المحروقة بدرجة 500 مئوية والمنعمة إلى درجات نعومة عالية تزيد من المقاومة بمقدار 50 % مقارنةً مع الخلطة المرجعية وكذلك تحسّن خواص المادة التركيبية في حمل الشق الأول وقابلية انفعال الشد وقابلية العزم القصوى والمطيلية والجساءة.

كذلك بين **(Bentur 2002)**بأن البوزولانا مثل دقيق السليكا تحتوي على مركبات (SiO2) و(Al2O3) وبتفاعل هذه المركبات مع (Ca(OH)2) تكون مركبات سمنتية تزيد من

مقاومة الخرسانة وتقلل من مساميتها بسبب نعومتها العالية. كما درس (**البدري 2002**) تأثير فعالية دقيق السليكا ورماد قشور الرز وكانت أفضل نسبة اضافة للدقيق (2%) وافضل نسبة اضافة للرماد (3.5%) من وزن السمنت.

كما درس ( **حسين 2005**) تأثير اضافة الفلدسبار غير المنشط فانه اعطى تحسن في خواص الخرسانة مقارنة مع الخرسانة غير المحتوية على دقيق الفلدسبار، كما تضمنت الدراسة على استخدام الفلدسبار المحروق بدرجة الحرارة المثلى وبين بان هذا النوع من البوزولانا يعطي تحسنا في خواص الخرسانة افضل من الفلدسبار غير المحروق.

وقام (**Nassif et al 2005**) بعدة تجارب مختبرية بين فيها تأثير دقيق السليكا على خواص الخرسانة حيث تعمل على زيادة مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة بعمر مبكر.

## -خواص المواد المستعملة وطرق الفحص

### السمنت

تم استخدام سمنت بورتلاندي اعتيادي من إنتاج معمل ترابة السبع اللبناني وأجريت له الفحوص الفيزياوية والكيمياوية في مختبرات الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية -دائرة السيطرة النوعية وكانت النتائج كما موضحة في الجـدولين (3 – 1) و (3 – 2). ويلاحظ بأن الخواص الفيزياوية والكيمياوية مطابقة للمواصفة العراقيـة رقـم (5) لـسنة 1984.

**الجدول (3-1) الخواص الفيزياوية للسمنت**

| الخواص | النتيجة | حدود المواصفة العراقية(1984/5) |
|---|---|---|
| النعومة بطريقة بلين (م2/كغم) | 340 | لا تقل عن 230 |
| زمن التجمد<br>– الابتدائي (دقيقة)<br>– النهائي (ساعة) | <br>120<br>8 | <br>لا يقل عن 45<br>لا يزيد على 10 |
| الثبات (بطريقة Autoclave) % | 0.24 | لا تزيد على 0.8 |
| مقاومة الانضغاط (نت/ملم2)<br>عند عمر – ثلاثة أيام<br>عند عمر – سبعة أيام | <br>25<br>35 | <br>لا تقل عن 15<br>لا تقل عن 23 |

الجدول (3-2) الخواص الكيمياوية للسمنت

| الأكاسيد | المحتوى % | حدود المواصفة العراقية م.ق.ع (1984/5) |
|---|---|---|
| CaO | 62.52 | |
| $SiO_2$ | 19.75 | |
| $Al_2O_3$ | 5.65 | |
| $Fe_2O_3$ | 3.63 | |
| MgO | 1.25 | حد أعلى (5%) |
| $SO_3$ | 2.73 | حد أعلى (2.8%) |
| القلويات($Na_2O$,$K_2O$) | 0.48 | |
| L.O.I. | 2.35 | حد أعلى (4%) |
| المواد غير الذائبة | 0.75 | حد أعلى (1.5%) |
| معامل الإشباع الجيري | 0.85 | (1.02-0.66) |
| المركبات % بموجب معادلات Bogue | | |
| $C_3S$ | 53.42 | |
| $C_2S$ | 16.41 | |
| C3A | 8.84 | |
| $C_4AF$ | 11.03 | |

الماء

تم استخدام ماء إسالة بغداد في جميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في هذا البحث.

- الفلدسبار

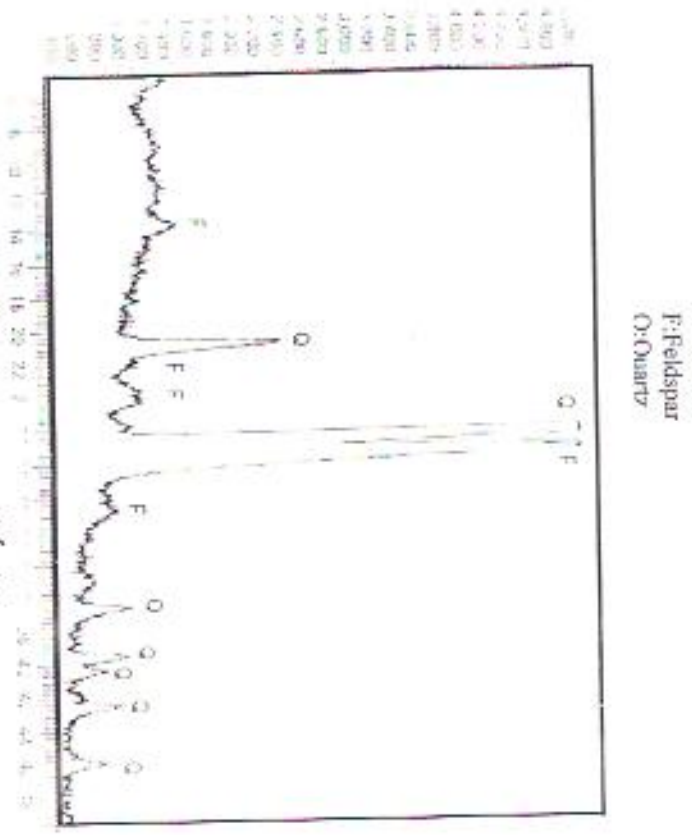
يعتبر الفلدسبار من المعادن الرئيسة المكونة للصخور النارية كالبازلت. والصيغة الكيمياوية للفلدسبار هي ($Al_2O_3.ySiO_2.nMO$) حيث أن (M) قد تكون K,Ca, أو Na. ويمكن أن يتحول هذا المعدن عبر العصور الجيولوجية وبفعل عوامل فيزياوية – كيمياوية إلى معدن الكاؤولين. وتتكون كيمياوياً من السليكات والألومينات ويبين الجدول (3 – 3) التحليل الكيمياوي للفلدسبار العراقي ويوضح الشكل (3 – 1) تحليله المعدني باستخدام جهاز حيود الأشعة (X – Ray Defraction)، ويعتبر الفلدسبار من مجموعة السليكات ثلاثية الهيكل (three dimensional structure).

وقد استخدم الفلدسبار المطحون والمنعم إلى نعومة عالية في الصين كمادة بوزولانية نشطة ويسمى تجارياً بالمسحوق السحري (magic powder)(**Kelly 1996**).

والفلدسبار المحلي المستخدم في هذا البحث جلب من بحر النجف ، واستخدم بعد طحنه وتنعيمه (باستخدام طاحونة كرات سيراميكية) وصولا إلى نعومة (مقاسة بجهاز بلين) مقدارها 1200م$^2$/كغم. ومن ثم حرقه حتى درجة 650م في فرن كهربائي مختبري، لأجل تنشيطه.

الجدول (3-3) التحليل الكيمياوي لرمل للفلدسبار

| المركبات | المحتوى % |
|---|---|
| $SiO_2$ | 89.35 |
| $Al_2O_3$ | 5.5 |
| CaO | 0.5 |
| MgO | 0.11 |
| $SO_3$ | 0.1 |
| $Na_2O$ | 0.94 |
| $K_2O$ | 1.14 |
| L.O.I. | 0.64 |



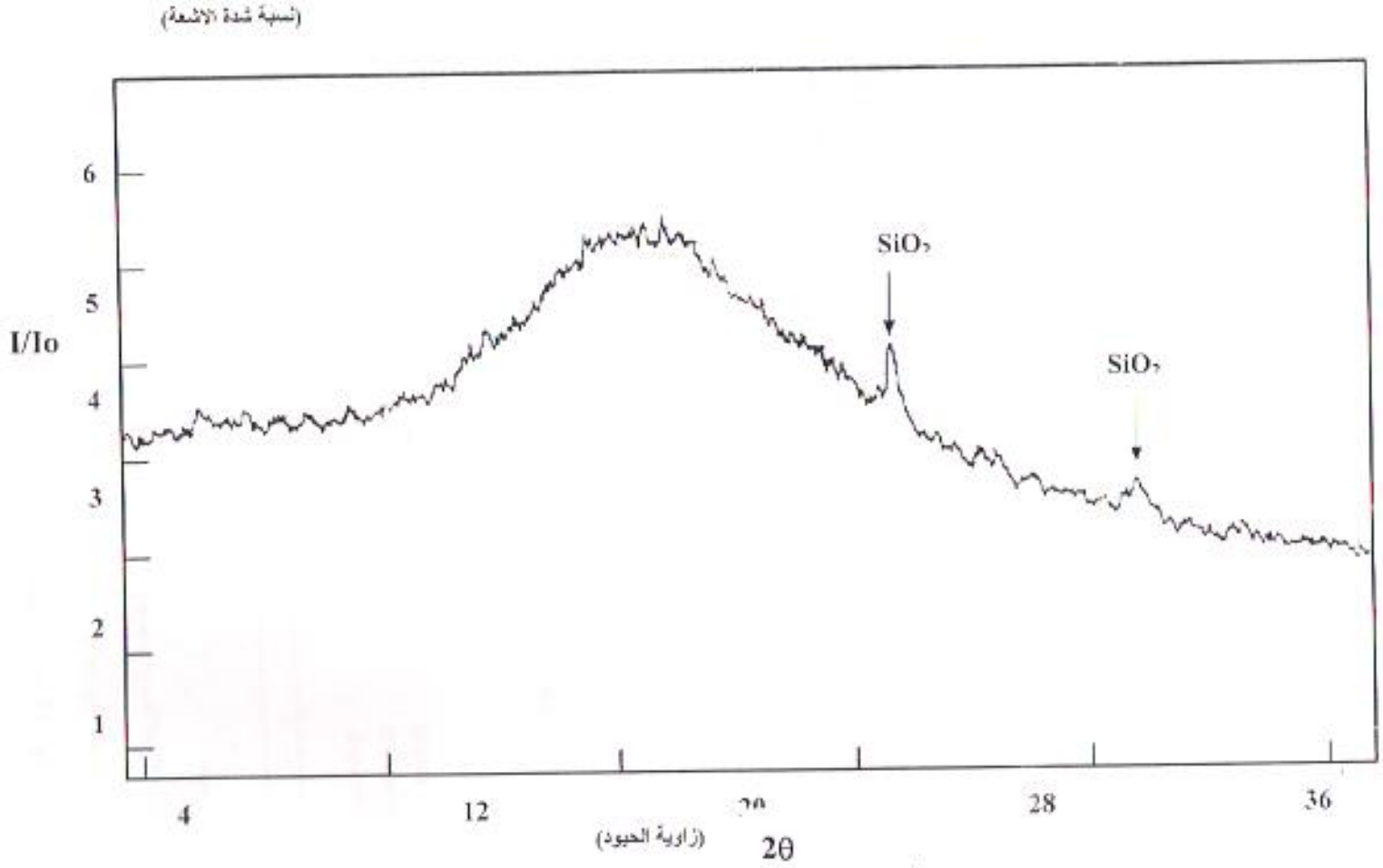

الشكل (3-1) حيود الأشعة السينية للفلدسبار

## -دقيق السليكا

تم استخدام دقيق السليكا (Silica Fume) من شركة Fosrock و هي مادة دقيقة التجزئة ناعمة. وقد تم فحصها كيمياوياً وثبت بأنها تحتوي على 95 % من السليكا. كما تم تحليلها باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية كما في الشكل (3 – 2) وتبين بأن نوع السليكا غير متبلور (amorphous silica) والمعروفة بفعاليتها البوزولانية وهي نـاتج عرضـي لأفران إنتاج الحديد والمعادن الحديدية الحاوية علـى السليكون (Ferrosilicon alloys) حيث يتحول الكوارتز إلى سليكون بدرجات حرارية 2000 درجة مئويـة وينـتج أبخـرة أوكسيد السليكون SiO2 وهذا بدوره يتجمع كحبيبات كروية عندما تقل درجـة الحـرارة. ويقدر معدل قطر هذه الحبيبة 0.1 مايكرون وتتراوح المساحة السطحية بـين (15 – 25) م$^2$/غم(**Mehta 1986**). ويبين الجدول (3 – 4) التحليل الكيمياوي لدقيق السليكا وفقـا لمعلومات الشركة المنتجة له وبموجب التحليل الكيمياوي الفعلي.

**الجدول (3 – 4) التحليل الكيمياوي لدقيق السليكا**

| المركبات الكيمياوية | $SiO_2$ | CaO | MgO | $Al_2O_3$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| النسبة المئوية بموجب دليل الشركة | 96.5 | 0.15 | 0.2 | 0.15 | 0.04 | 0.2 | 1.15 |
| النسبة المئوية بموجب التحليل الكيمياوي | 94.0 | nil | 2.00 | 2.03 | nil | nil | 1.32 |

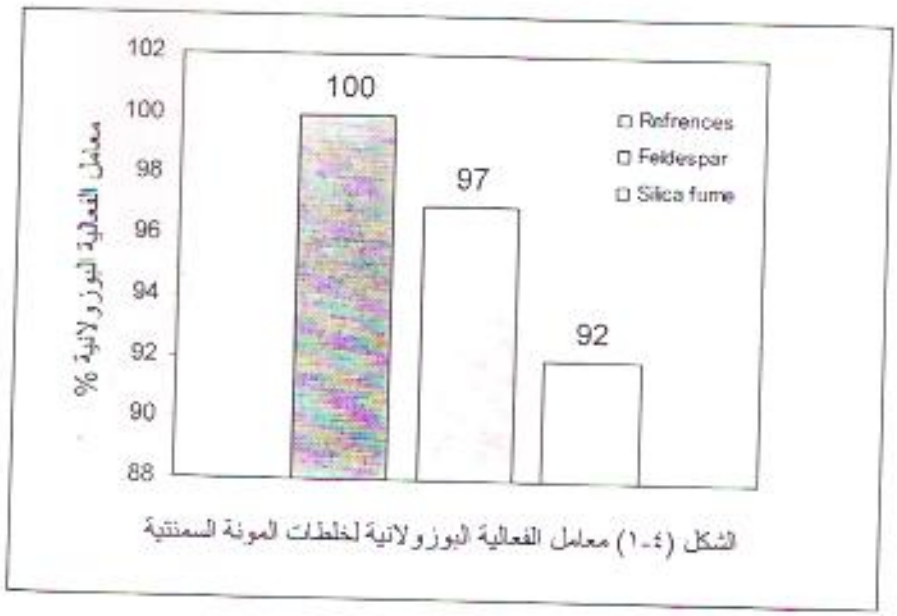



الشكل (3-2) منحني حيود الاشعة السينية لدقيق السليكا

## - النتائج ومناقشتها

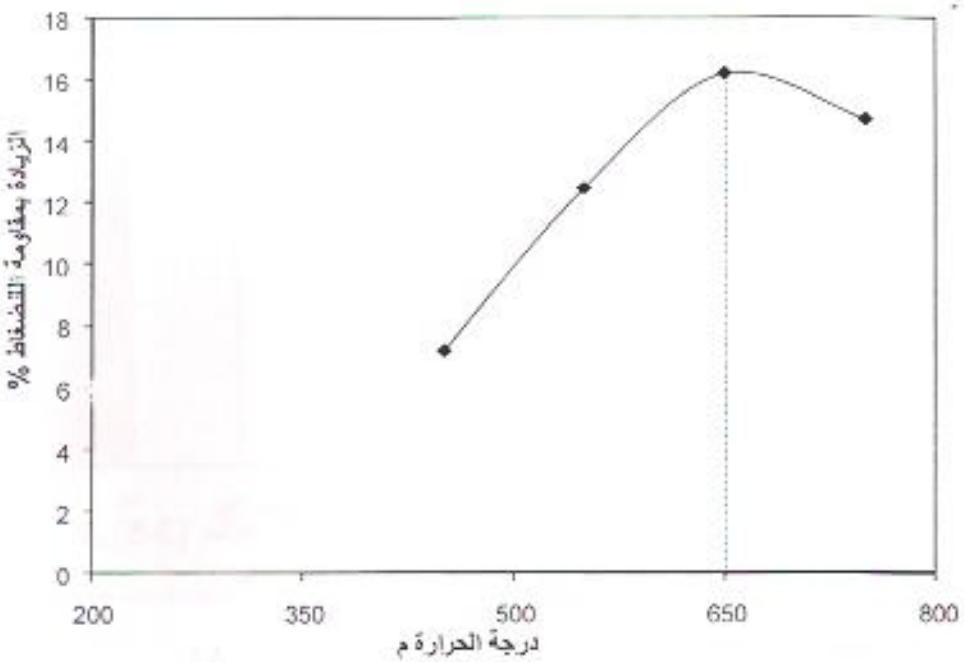
### - معامل الفعالية البوزولانية

يلاحظ من الشكل (4-1) معامل الفعالية البوزولانية لكل من دقيق السليكا والفلدسبار المنعم والمحروق بدرجة حرارة 650 مئوية وقد حددت درجة الحرق هذه بعد إجراء عدة تجارب حرق في درجات مختلفة إلى أن تم التوصل إلى الدرجة المثلى والتي تعطى أكبر مقاومة انضغاط.




الشكل (٤-١) معامل الفعالية البوزولانية لخلطات المونة السمنتية

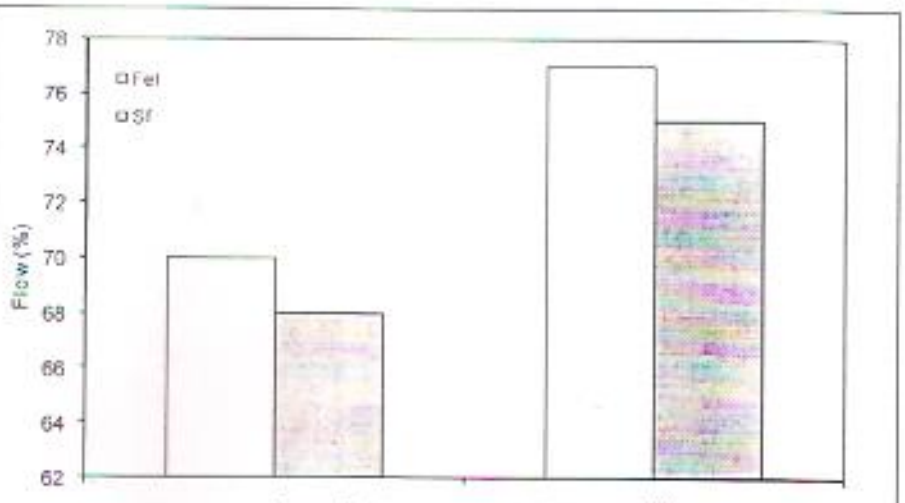
ويبين الشكل (4-2) درجة حرارة الحرق المثلى للفلدسبار المنعم بموجب المواصفة الأمريكية (ASTM C-311-2002) حيث استخدمت درجات حرارية بين (450-750) درجة مئوية في فرن مسيطر عليه ولمدة ساعتين ونصف ويلاحظ من الشكل (4-2) بأن أعلى زيادة في مقاومة الانضغاط حصلت عند درجة 650.




الشكل (4-2) درجة حرارة الحرق المثلى للفلدسبار المنعم

- الانسياب (Flow)

تم قياس الانسياب (Flow) للمونة السمنتية المستعملة في التجارب المختبرية بموجب المواصفة (**ASTM C-230-97**) ويشير الجدول (4-1 ) إلى نتائج فحص الانسياب للخلطات الحاوية على نسبة 1% من وزن السمنت من الملدن المتفوق مع تغير نسبة الاستبدال الجزئي للسمنت وكما موضح في الشكل (4-3).




الشكل (5-3) علاقة الانسياب ((Flowبتغير نسبة الاستبدال بالفلدسبار او دقيق السليكا

الجدول (4-1) نتائج فحص الانسياب

| | رمز الخلطة | نسبة الاستبدال% | الانسياب% |
|---|---|---|---|
| 1 | Fel | 5 | 70 |
| 2 | Fel | 10 | 77 |
| 3 | Sf | 5 | 68 |
| 4 | Sf | 10 | 75 |

## - الاستنتاجات

تم في هذا البحث استخدام مواد بوزولانية محلية ومستوردة. وتم دراسة خواص هذه المواد وتأثيرها على المونة السمنتية بإجراء تجارب متعددة وعلى ضوء نتائج هذه التجارب يمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

- معامل الفعالية البوزولانية: من خلال نتائج فحوص معامل الفعالية البوزولانية لنوعيتين من البوزولانا احدهما محلية (دقيق الفلدسبار المحروق) والأخرى مستوردة (دقيق السليكا) لوحظ بأن معامل فعالية الفلدسبار المحروق يساوي (97%) مقارنة بـ (92%) لدقيق السليكا.
- 2-يمكن استخدام الفلدسبار المحلي المطحون والمحروق في إنتاج مونة عالية الأداء بدلاً من دقيق السليكا المستورد.

## REFERENCE


- American Society For Testing and Materials, C-311-02 "Samp'ing and testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use in Portland – Cement Concrete". Vol.0402, 2002

- American Society For Testing and Materials, C-230/C230M - 98,"Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement". Vol.0401,1998

- Bentur, A., " Cementitious materials- nine millennia and a new century : past, present and future" Journal of Materials in Civil Engineering – January/February 2002.From Internet.

- Kakasoor, Dilshad, "Improvement of properties of Steel Fibre Reinforced cementitious composites", Ph.D Thesis, University of Baghdad July, 2001.

- Kelly S.J. "British Board of Agreement assessment report" Test ReportNo. 1279, NFG-1, paga 1-13, Feb.1996.

- Mehta, K.R. " Concrete: Structure, Properties and Material", Prentice-Hall, Inc. 1986.

- Nassif H. H., Husam Najm, Nakin Sukswamy "Effect of pozza;anic materials and curing methods on the elastic modulus of HPC" Cement and Concrete Composites 2005.From Internet

لمصادر العربية

- البدري ،فراس فاضل "تقييم الخرسانة عالية الأداء بطرق غير إتلافية" اطروحة ماجستير ، كلية الهندسة، جامعة بغداد 2001.

- حسين ،جعفر "خواص الخرسانة عالية الاداء المسلحة بالالياف الفولاذية وباستخدام دقيق الفلدسبار المحلي " أطروحة ماجستير ، كلية الهندسة، جامعة بغداد 2005.