انتاج خرسانة عالية الاداء باستخدام انواع مختلفة من البوزولانات المحلية

ندى مهدي فوزي علياء فالح حمد
القسم المدني-كلية الهندسة-جامعة بغداد

الخلاصة

تعتبر الخرسانة عالية الاداء واحدة من اهم المنتجات التي شهدتها الصناعة الانشائية في السنوات الاخيرة في مجال انتاج انواع جديدة ومتطورة من الخرسانة. وان لهذا النوع الجديد من الخرسانة اهمية بالغة لما لها من خواص عالية من ناحية مقاومة الانضغاط والديمومة ومقاومة مهاجمة الاملاح الخارجية حيث لها نفاذية واطئة للغاية.

يتناول هذا البحث تجارب مختبرية لتقييم أداء خرسانة عالية الأداء بإستخدام نوع جديد من البوزولان المتوفر محليا مثل الميتاكاؤولين وخبث الافران ومقارنة تأثير إضافته مع أنواع أخرى من البوزولان المعروفة مثل دقيق السليكا. كأمكانية تنشيطها لتحسين نوعيته وتشمل التجارب دراسة المادة من حيث التحليل الكيمياوي وايجاد النسبة المثلى للإضافة ومدى تأثيرها على الخواص الميكانيكية وخواص الخرسانة في الحالة الطرية والمتصلبة وتأثير المضاف على الانكماش والتي تعطي فكرة عن ديمومة الخرسانة.

ABSTRACT

High Performance Concrete (HPC) is considered as one of the most important products known by the construction industries during the last years in the field of producing new and improved types of concrete. This new type of concrete has an essential importance due to its high compressive strength, superior resistance for external salt attack and its low permeability.

This paper is concerned with experimental investigations for evaluation of high performance concrete using a new type, locally available pozzolan. The results are compared with that obtained from using well known micro silica. The experimental work also includes the possibility of activation in order to improve the quality of HPC; the experiments mainly deal with the chemical analysis and the selection for the optimum dosages of additive. The properties of HPC are studied in both fresh and

hardened stages. The effect of pozzolan additive on shrinkage was also considered to provide an index for the durability of concrete.

ـ المقدمة

البوزولانا POZZOLANA

تعريفها

البوزولانا هي مواد سليكونية او سليكونية والومينية لا تملك لوحدها خواص أسمنتية او قد تكون ذات خواص أسمنتية قليلة ولكن عندما تكون بدرجة عالية من النعومة وبوجود الرطوبة تتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم بدرجات الحرارةالاعتيادية لتكون مركبات ذات خواص أسمنتية او هي سليكات او الومينات نشطة تخلط مع الاسمنت او الجير (النورة) وتكسب الخرسانة مقاومة أضافية ضد هجوم الأملاح الكبريتية [1].

والمواد البوزولانية تتفاعل مع اوكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل السمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سليكات والومينات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ومن امثلتها الميتاكاؤولين ودقيق السليكا وخبث الافران المستعملة في هذا البحث.

تطبيقات البوزولانا

يمكن استخدام المواد البوزولانية بأنواعها المتعددة لإغراض مختلفة وذلك في الخرسانة وهذه بعض التطبيقات لمضاف البوزولانا

1- خبث الفرن العالي : يستخدم كمضاف في الخرسانة الكتلية وكمادة أولية في تصنيع الاسمنت البوروتلاندي. يتكون الخبث من اربعة اكاسيد رئيسية مطابقة للاكاسيد الموجودة في مادة السمنت ولكن بنسب مختلفة واشكال بلورية مختلفة وهي السليكا والالومينا والموجودة في تراب الحديد واكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم ومصادرها المواد المساعدة للصهر [3,2]

ان الخبث في العراق ينتج من افران القوس الكهربائي من مخلفات صناعة الحديد، وخواص الخبث الناتج وفعاليته الكيميائية تعتمد على طريقة معالجة منصهر الخبث حين خروجه من الفرن.

2- الميتاكاؤولين : هي اطيان معدنية منشطة بدرجات حرارية (650-800)^0 م وتحتوي في تركيبها الكيمياوي على السليكا والالومينا ويكون تفاعل هذه المادة في الخرسانة كما يلي

$$C3S/C2S+H2O = Calcium\ Silicate\ Hydrates(C\text{-}S\text{-}H) + Ca(OH)2$$

$$Ca(OH)2+MK + (C\text{-}S\text{-}H)$$

3- دقيق السليكا: تعتبر من المواد البوزولانية العالية الفعالية وهي ناتج عرضي من افران القوس الكهربائي في صناعة معادن السليكون او سبائك الحديد والسليكون ، وهي عبارة عن حبيبات كروية الشكل غير متبلورة ذات مقاس 0.1 مايكرون[4] وللسليكا اهمية كبيرة في انتاج الخرسانة حيث انها تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من اماهة C3S,C2S لتكون جل سمنتي يعمل على تقليل سمك الطبقة البينية الموجودة بين السمنت والركام مما يزيد من مقاومة انضغاط الخرسانة.

- دراسات سابقة

هناك العديد من الدراسات والبحوث التي تناولت موضوع المضافات الخرسانية وبالاخص المضافات البوزولانية وتأثيراتهما على الخرسانة ،وكانت هذه الدراسات أما متعلقة بالمضافات البوزولانية لوحدها او تشمل معها مضاف او مضافات اخرى ويتم عمل المقارنات بين نتائج التأثير الفردي والمشترك لهذه المضافات على الخرسانة عند الاستخدام . وتكون الدراسة ذات طابع عام او طابع محلي تحت ظروف معينة حسب خصائص كل بلد .

ومن هذه الدراسات المحلية درس محمد مصلح[5] في عام 1987 تأثير اضافة بعض المواد المحلية على التغيرات البعدية والتشقق في الخرسانة وعنيت هذه الدراسة بمضافي الجبس والبوزولانا وتناولت تأثيراتهما على الخرسانة .
ومن أهم الاستنتاجات هو **ان** مضا ف البوزولانا او البوزولانا مع الجبس الى الاسمنت عموما تعمل على تقليل مقاومة الانضغاط في الاعمار المبكرة ، ولكن مع الاستمرار بعملية الإنضاج بالماء لفترات طويلة سوف يحسن مقاومة الانضغاط للخرسانة مع المضافات .

واستخدم(Justice.J.M.et al) [6] نوعين من الميتاكاؤولين بمساحة سطحية مختلفة (11.1 و 25.4 م^2/غم)وبين بان النوعين من البوزولانا الناعمة جدا تعمل على تحسين خواص الخرسانة ومقارنتها مع اداء دقيق السليكا في تحسين خواص الخرسانة.

ودرس Jianxin [7] الخرسانه ذات الاداء العالي والتي تصل مقاومة الانضغاط الى 150 ميكا باسكال بسبب اضافة مواد مثل السيليكا والتي تعمل على تحسين الخواص الفيزياويه للخرسانه وذلك بتقوية المنطقه الفاصله بين المادة المالئه والركام وبالتالي الحصول على كثافات عاليه
كما ذكر Mehta[8] ان الملدنات المتفوقة تمتلك شحنات سالبة قوية تؤدي الى تنافر عالي يساعد في تقليل الشد السطحي لجاذبية الماء وعليه يعزز بشكل كبير انسيابية النظام وبنفس الوقت فان كمية الماء المطلوبة للحصول على قابلية تشغيل معينة تكون قليلة.

-المواد المستعملة والتجارب المختبرية

المواد المستعملة :-

1- السمنت :- استخدم السمنت البورتلاندي الاعتيادي من انتاج لبنان علامة ترابة السبع ويبين الجدول (3-1) التحليل الكيمياوي للسمنت البورتلاندي والجدول (3-2) يبين الفحوصات الفيزياوية للسمنت.

2- الماء : استخدم ماء الإسالة في جميع الفحوصات المختبرية .

3-الركام الناعم :- استخدم الرمل النهري المأخوذ من مقالع منطقة العسيلة ويبين الجدول (3-3) الفحوصات الخاصة بالرمل المستعمل.

4- **الركام الخشن :-** يستعمل الركام النهري المكسر ويبين الجدول (3-4) فحوصات الركام الخشن المستعمل .

5- الملدن المتفوق :الملدن المتفوق المستعمل في هذا البحث لتقليل الماء بدرجة متفوقة من النوع ايكوبيت VZ من انتاج شركة الكيمياويات السويسرية مطابق للمواصفة الامريكية ASTM C494 Type G

6-المواد المضافة المستعملة:

أستعملت ثلاثة أنواع من المضافات هي المايكروسليكا مستوردة وخبث الافران ومتوفر في العراق في الفرن الكهربائي لمصانع صهر الحديد والميتاكاوؤلين وهو من منطقة ارضمة قرب الانبار .ويبين جدول (3-5) التحليل الكيمياوي لكل من هذه المواد المضافة المستعملة في البحث .

التجارب المختبرية:-

1- معامل الفعالية البوزولانية للمايكروسليكا وخبث الافران والميتاكاؤولين :-

تم أستعمال المواد البوزولانية التالية (المايكروسليكا وخبث الافران والميتاكاؤولين)وهي مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM C 618 [9]كاستبدال جزئي للسمنت البورتولاندي الاعتيادي ،وتم فحص الفعالية البوزولانية بموجب المواصفة الأمريكية ((ASTM C(311-02)[10] وكانت النتائج كما في الجدول (3-6) .

2- **تصميم الخلطة الخرسانية** : تم تصميم الخلطة الخرسانية بموجب المواصفة الامريكية ACI 211 [11] وكانت نسب الخلط (1: 1.75:1.25) وبنسبة ماء الى سمنت 0.28 وذلك باستخدام الملدن المتفوق لجميع الخلطات. ومحتوى سمنت 400 Kg/m3 للحصول على مقاومة انضغاط بمقدار 70 ميكاباسكال وهذه هي الخلطة المرجعية للمقارنة مع بقية الخلطات ,أما الخلطات الاخرى فتمت بنفس الطريقة السابقة مع إضافة (5 ،10)% من المواد البوزولانية التالية (المايكروسليكا ،خبث الافران ،والميتاكاؤولين).

3- مقاومة الانضغاط :-تم اعداد مكعبات بابعاد (15x15x15)cm من الخرسانة باستعمال نسب مختلفة من الاستبدال الجزئي للمواد المضافة وتم فحص مقاومة الانضغاط لهذه النماذج ويبين الجدول (3-7) نتائج هذه الفحوصات .

4- معاير الكسر :-تم اعداد نماذج موشورية بابعاد (10*10*50) cm من الخرسانة ويبين الجدول (3-7) نتائج هذه الفحوصات .

5- فحص الذبذبات فوق الصوتية :-تم فحص النماذج الموشورية المعدة لفحص معاير الكسر وكذلك تم فحص النما ذج المعدة لفحص مقاومة الانضغاط بفحص الذبذبات فوق الصوتية بجهاز (PUNDIT) لايجاد سرعة مرور الذبذبات فوق الصوتية خلال النماذج وكذلك فحص كثافة كل نموذج وكانت معدل هذه النتائج مبينة في الجدول (3-7) .

6- يمكن ايجاد E_D من معادلة رقم (1) [12]

$$E_D=22+2.8\sqrt{F_{cu}} \quad \text{----------(1)}$$

حيث أن
F_{cu} : مقاومة الانضغاط بوحدة الميكاباسكال
E_D : معامل المرونة الديناميكي بوحدات الكيكاباسكال

جدول(3-1) التحليل الكيماوي للسمنت البورتلاندي الاعتيادي*

اسم الاوكسيد	المحتوى%	حدود المواصفة العراقية م.ق.ع رقم 1984/5
CaO	64.1	
SiO2	21.0	
Al2O3	4.6	
Fe2O3	3.0	
MgO	2.4	حد أعلى 5 %
SO3	2.7	حد أعلى 2.8 %
Na2O	0.4	
K2O	0.2	
L.O.I	1.5	حد أعلى 4%
C3S	58.9	
C2S	15.8	
C3A	7.0	
C4AF	9.1	

*تم الفحص الكيمياوي في التقييس والسيطرة النوعية

الفحوصات			التدرج المطلوب بموجب المواصفة العراقية (أ ق ع 1984/45)			
1-التدرج	العابر%	فتحة المنخل	منطقة تدرج رقم (1)	منطقة تدرج رقم (2)	منطقة تدرج رقم (3)	منطقة تدرج رقم (4)
	100	10	100	100	100	100
	97.58	4.75	100-90	100-90	100-90	100-95
	89.91	2.36	95-60	100-75	100-90	100-95
	80.4	1.18	70-30	90-55	100-85	100-90
	66.3	0.6	34-15	59-35	79-60	100-80
	22.00	0.3	20-5	30-8	40-12	50-15
	7.89	0.15	10-0	10-0	10-0	15-0
2- الأملاح so3الكبريتية	0.1		حد أعلى 0.5%			

جدول (3-2) الخواص الفيزياوية للسمنت البورتولاندي الاعتيادي

جدول (3-3) تدرج الركام الناعم

الخواص	النموذج المستعمل	المواصفة رقم 5 لسنة1984
النعومة (سم2/غم) (بطريقة blaine)	3500	لاتقل عن 2300
زمن التماسك الابتدائي (دقيقة) النهائي (ساعة)	60 دقيقة 6.30 ساعة	لا تقل عن 45 دقيقة لا تزيد عن 10ساعة
مقاومة الانضغاط (Mpa) بعمر3 أيام بعمر7 أيام	20 32	15 23

جدول (3- 4) تدرج الركام الخشن

الفحوصات			حدود المواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984	
1- التدرج	العابر %	فتحة المنخل	(5-20) mm	(5-40) mm
	100	37.5	100	100-95
	90.0	20	100-95	60-35
	39.84	10	55-25	40-10
	0.75	4.75	10-0	10-0
2- الأملاح الكبريتية so3	0.02		حد أعلى % 0.1	

جدول (3-5) التحليل الكيماوي للمايكروسليكا وخبث الافران والميتاكاؤولين المستعمل في البحث

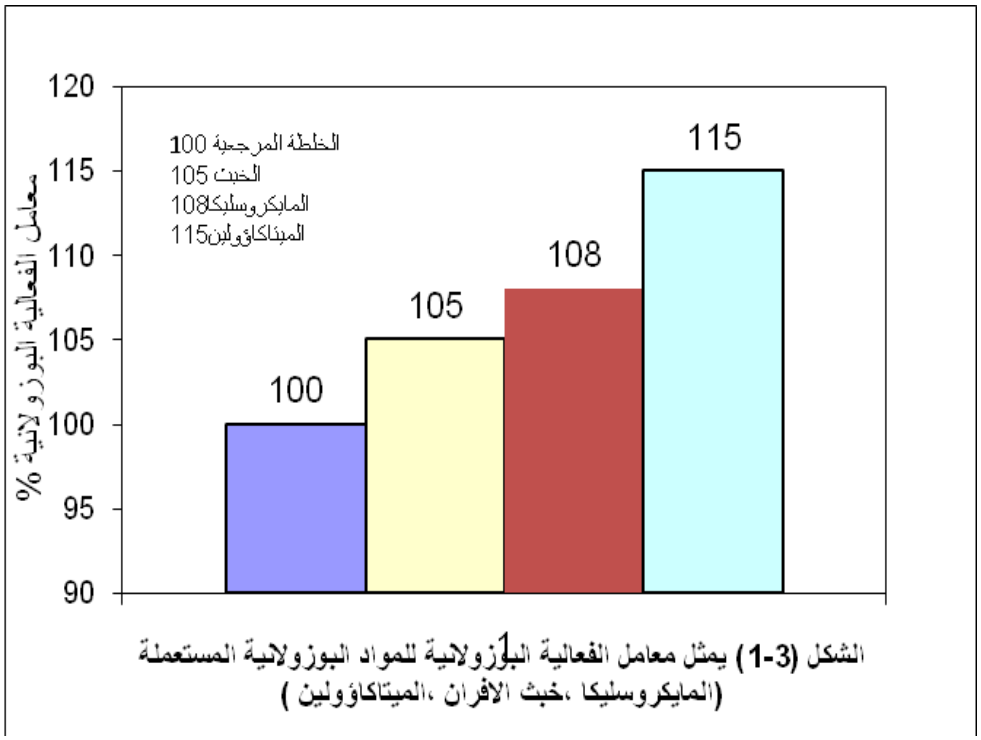
اسم الاوكسيد	%المايكروسليكا	%خبث الافران	% الميتاكاؤولين
SiO2	93	32	51.34
Al2O3	0.06	25	41.8
Fe2O3	0.45	2	0.52
CaO	0.5	35	0.34
L.O.I	2.2	1.5	0.72

جدول (3-6) معامل الفعاليه للمواد المستعمله

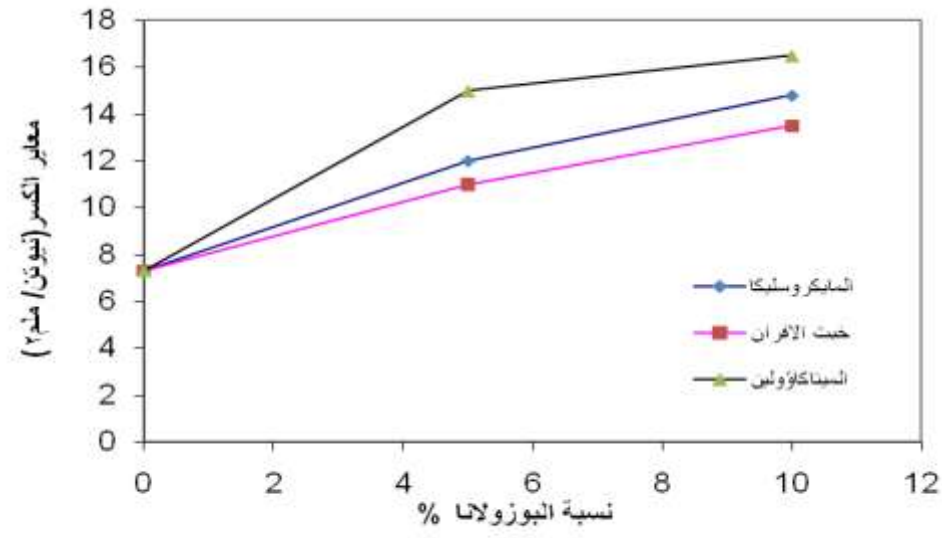
نوع الخلطة	مقاومة الانضغاط (MPa)			معامل الفعالية بموجب ASTM C(311-02)
	بعمر28يوم	بعمر 60	بعمر90يوم	
الخلطة المرجعية (مونة سمنتية)	30	37	43	100
مونة مايكروسليكا (MS)	32,4	44	53	108
مونة خبث الافران (S)	31,5	40	50	105
مونة ميتاكاؤولين (MK)	34,5	47	58	115

جدول (3-7) نتائج الفحوصات المختبريه

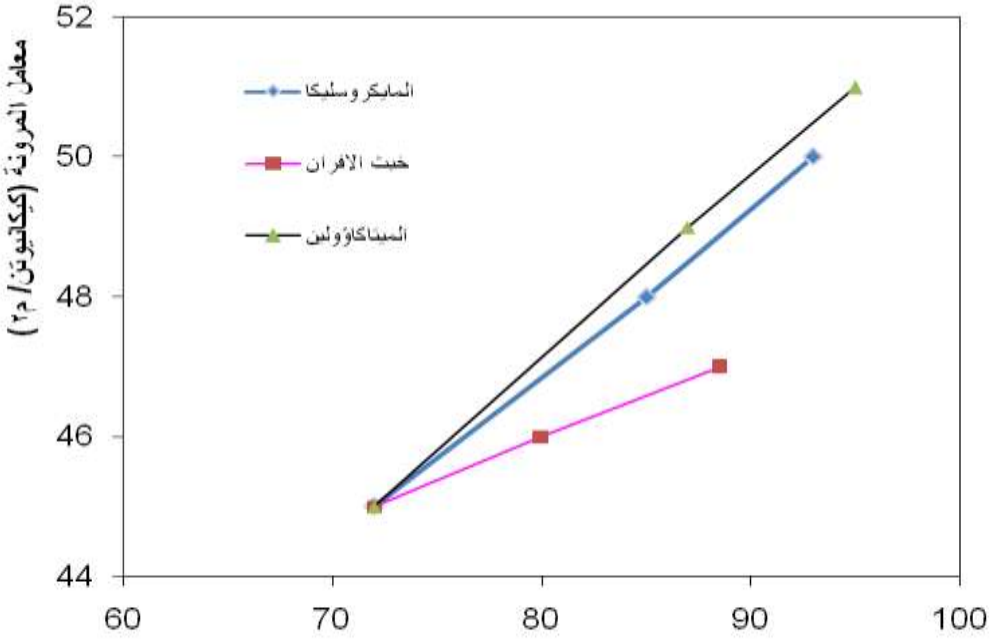
رقم الخلطة	المايكروسليكا (%)	خبث الأفران (%)	الميتاكاؤولين (%)	معدل مقاومة الانضغاط (MPA)		معاير الكسر (MPA)	نسبة الامتصاص (%)	معدل سرعة الذبذبات فوق الصوتية Km/sec	معامل المرونة (E) (Gpa)
				بعمر 28 يوم	بعمر 90 يوم				
1	0	0	0	72	78	7.3	10.2	4.5	45
	5	0	0	85	100	12	7.1	4.9	48
	10	0	0	93	110	14.8	5.2	5.0	50
2	0	5	0	80	90	11	8.1	4.6	46
	0	10	0	88.5	96.5	13.5	7.2	4.8	47
3	0	0	5	87	100	15	6.1	4.9	49
	0	0	10	95	110	16.5	5.0	5.0	51



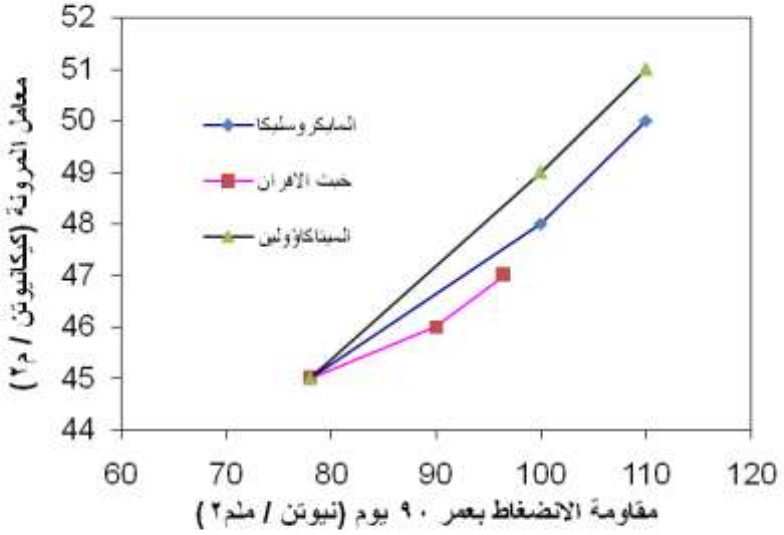
الشكل (3-1) يمثل معامل الفعالية البوزولانية للمواد البوزولانية المستعملة (المايكروسليكا ،خبث الافران ،الميتاكاؤولين)



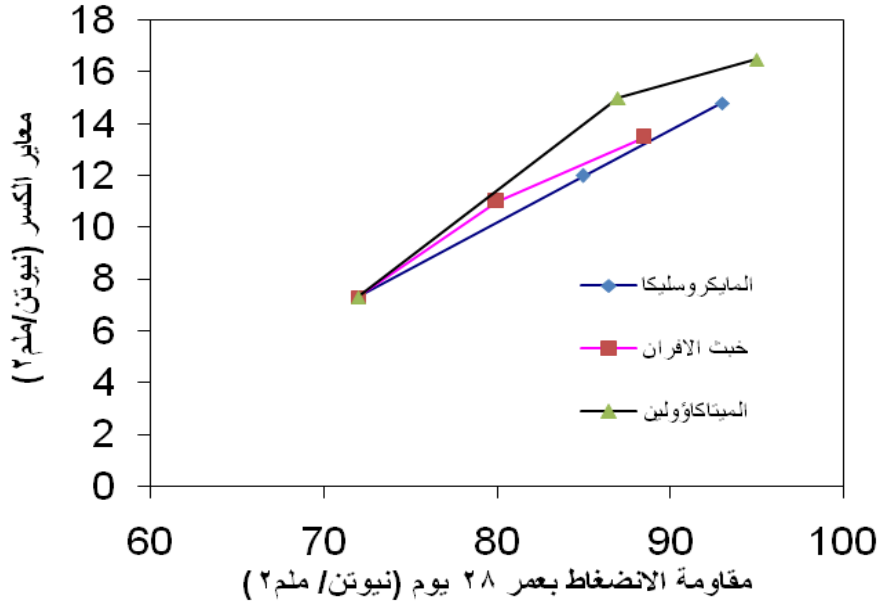
الشكل (٣-٢) يمثل العلاقة بين معاير الكسر ونسبة البوزولانا



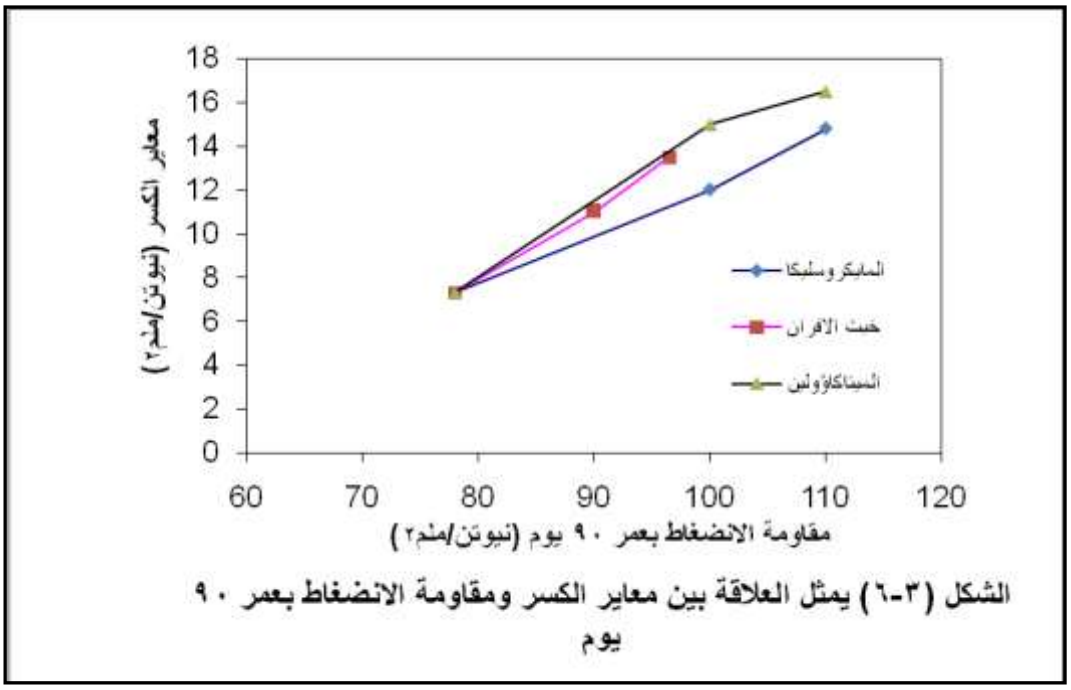
الشكل (٣-٣) يمثل العلاقة بين معامل المرونة ومقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم



الشكل (٣-٤) يمثل العلاقة بين معامل المرونة ومقاومة الانضغاط بعمر ٩٠ يوم



الشكل (٣-٥) يمثل العلاقة بين معاير الكسر ومقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم



الشكل (٣-٦) يمثل العلاقة بين معاير الكسر ومقاومة الانضغاط بعمر ٩٠ يوم

ـ مناقشة النتائج

1-يبين الشكل (3-2) نتائج مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية المستخدمة في هذا البحث والحاوية على الانواع الثلاثة من البوزولانات ومقارنتها بالخلطة المرجعية وقد لوحظ من الشكل ان الخلطات الحاوية على البوزولانا المحلية كانت ذات كلفة قليلة وذات مقاومة انضغاط قريبة من البوزولانا المستوردة (المايكروسليكا) . ومن هذا ممكن التعويض عن البوزولانا المستوردة بالمحلية.

2- من الشكل(3-3)نلاحظ نتائج معاير الكسر ونستنتج كذلك بامكانية استخدام البوزولانا المحلية ذات الكلفة القليلة واستبدالها بجزء من السمنت .

3-ويبين الشكلين (3-4) ، (3-5) بان معامل المرونة للخلطات الحاوية على الميتاكاؤولين المحلي تكون اعلى من باقي الخلطات وكذلك بالنسبة للامتصاص لهذه الخلطات تكون اقل اي المسامية لهذا النوع من الخرسانة تكون قليلة.

ـ الاستنتاجات

1- أن إضافة المادة البوزولانية تؤدي إلى تحسين الخواص الفيزياوية للخرسانة المصنوعة منها والالومينا(SiO_2)وهذا بسبب كيمياوي حيث أن التركيب الكيمياوي للمادة البوزولانية هو السليكا المتبقي غير المتفاعل وتكون مركبات سمنتية (CaO)هذه المركبات تتفاعل مع (Al_2O_3) مفيدة تزيد من قوة الخرسانة.

2- أن اضافة هذه المواد الدقيقة التجزئة (نعومتها تعادل حوالي خمسة امثال نعومة السمنت الاعتيادي) تعمل على تقوية هيكل المادة الخرسانية مما تؤدي الى سد كثير من الفراغات الموجودة في هيكل الخرسانة وتقليل الامتصاص والمسامية للخرسانة وبذلك تزيد من المقاومة والديمومة للخرسانة.

3- تعمل على تقوية المناطق البينية بين السمنت والركام،ولذلك يلاحظ ان مقاومة الانضغاط للخرسانة تصل الى 110 ميكاباسكال وبذلك فهي متوافقة مع الخرسانة عالية الاداء .

4- يمكن استخدام الميتاكاؤولين المحلي المتوفرحاليا حيث أن كلفته فقط هي في الطحن ويطحن عن طريق العصف بكميات كبيرة ويعطي خواص فيزياوية للخرسانة المصنوعة منها مقاربة إلى المايكروسليكا المستورد وخبث الافران أيضا وهو ناتج عرضي من أفران صهر الحديد أيضا نتائجه مقاربة إلى المايكروسليكا وهو لايحتاج إلى طحن فيمكن بذلك الحصول على خرسانة عالية الأداء من استخدام مواد محلية رخيصة وتقلل من كمية السمنت وبذلك يؤدي إلى نقص في الكلفة .

REFERENCES

- Neville A. M."Properties of Concrete", Long Man Group Limited, London, Fourth Edition, 1995.

- Mohammed Musluh" The effect of addition of some local materials on dimensional changes and cracking of a concrete "MSc. Baghdad University 1987.

-J.M. Justice, et al. "Comparison of Two Metakaolins And A Silica Fume Used As Supplementary Cementitious Materials "Article to be published in: Proc. Seventh International Symposium on Utilization of high-Strength\high Performance Concrete, to be held in Washington D.C. ,June 20-24, 2005.

-Jianxin Ma1; Holger Schneider1 "Properties of Ultra-High-Performance Concrete" LACER No. 7, 2002

- Mehta P. Kumar" Concrete Structure, Properties and Materials" University of California 1986.

-ASTM C618-03,"Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete " Annual Book of Standard American Society For Testing and Material, Vol.0402,2003.

- ASTM C311-02,"Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolan for use in Portland – Cement Concrete " Annual Book of Standard American Society For Testing and Material, Vol.0402,2003.

-ACI 211.1-91 "Standard Practice For Selecting Proportions for Normal Heavyweight and Mass Concrete" Reported by ACI Committee 1997.

- زين العابدين رؤوف، مفيد السامرائي(الفحوص غير الاتلافية للخرسانة" الامارات العربية المتحدة 1999.

- يوسف، موفق زين العابدين"انتاج خرسانة ذات مقاومة عالية التحمل باستخدام خبث افران الصهر"وزارة الاسكان , مركز بحوث البناء والزجاج ،كانون الاول1999.

- الملا،جمال احمد " تأثير استخدام الخبث العراقي في صناعة الخرسانة" اطروحة ماجستير، جامعة بغداد 1992.

- الخلف، مؤيد ويوسف، هناء عبد "مضافات الخرسانة، مطبعة جامعة الموصل 1991 .