

## الخواص الهندسية للخرسانة عالية الاداء

ندى مهدي فوزي زين العابدين محمد رؤوف لمى احمد عادي

قسم هندسة المواد الانشائية/ كلية الهندسة/ جامعة بغداد

(Received 7 July 2009; Accepted 24 June 2010)

### الخلاصة

يبدأ البحث في دراسة تأثيرها على خواص الخرسانة عالية الاداء ذات خواص فيزيائية محسنة والتي تم تحضيرها باستخدام مضاميات معدنية دقيقة التجزئة وهي و الميكاوولين ودراسة تأثيرها على خواص الخرسانة عالية الاداء بجراء فحوصات اتلافية وغير اتلافية وهي ذات النوع من الخرسانة يستخدمه بشكل واسع في المباني العامة والمنشآت الاخرى .

البيد يشتمل على تجارب منها ايجاد معامل البوزولانية للكاؤولين المدروق بدرجات حرارة 700م بموج بمواصفة الاميركية ASTM C- (311/03) وكذلك صلب نم اذ لم يخلط بمونة من منتية وخرسانية حاوية على نسب مختلفة من الميكاوولين تتراوح بين (5% - 20%) كجزء مضاف الى الخليط السمنتي للحصول على خرسانة عالية المقاومة تصل مقاومتها الى اكثر من (70) نيوتن/م<sup>2</sup> بالاضافة الى انخفاض في المسامية . البحث يشمل ايضا الخواص الهندسية مثل الكثافة ومقاومة الانضغاط وسرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي والمسامية .

**الكلمات المفتاحية:** خرسانة عالية الاداء، الميكاوولين، المضافات المعدنية، مقاومة الانضغاط، معامل المرونة الديناميكي .

### 1. المقدمة

بدرجات متفاوتة مختلفة لانتاج خرسانة عالية المقاومة وقليلة المسامية .

واشتملت خطة البحث على ثلاث مراحل رئيسية يمكن ايجازها بمايلي

- 1) تصميم الخلطات التجريبية .
- 2) ايجاد الخواص الفيزيائية للخلطات .
- 3) تحليل ومناقشة النتائج .

### 2. التجارب العملية

في هذا البحث تم استخدام المواد التالية :-

1) استخدام السمنت البورتلاندي الاعتيادي من نوع شرقية انتاج المملكة العربية السعودية .

2) استخدام ركام ناعم من مقالع منطقة النخيب محتوى الكبريتات له (0.34%) .

3) استخدام ركام خشن للخلطة الخرسانية من منطقة النخيب وبمقاس اقصى (5) ملم ، محتوى الكبريتات له (0.03%) .

4) استخدام الكاؤولين المدروق بدرجات حرارة (700) م من منطقة دويخلة في محافظة الانبار معدل قطر حبيباته 70% اقل من (15)  $\mu\text{m}$  .

5) استخدام ملدن متفوق في هذا البحث كمضاد كيميائي لتقليل الماء بدرجة متفوقة يحمل الاسم التجاري ايكوبيت (VZ) ،

وجوده ان النسبة التي تم استخدامها هي (1%) من وزن السمنت والتي اعطت قابلية تشغيل ملائمة .

6) استخدام اسالة بغداد في جميع الخلطات التجريبية في هذا البحث .

تطورت الخرسانة تطورا هائلا منذ ان استخدمت لأول مرة كمادة انشائية وتشمل التطور كل جوانبها وتحسنت طرق صنعها ، كذلك ظهرت احد دوائج واعمال المعونات المسدعة في صنعها وتعددت الازواج المختلفة من الخرسانة تبع ذلك وتكونت متطلباتها .

حيث يشهد العالم حاليا تطورا ملحوظا في مواد واساليب البناء

مملدة الى اكتشاف مواد جديدة تستخدم مع مكونات الخرسانة لتحسن بين خواصها تعريف المواد السمنتية الاضدية ، وتقسيم

المواد السمنتية الاضدية الى صنفين على اساس نوع التفاعل ، هيدروكسي التي تتفاعل مباشرة مع الماء مثل السمنت الخبز و بوزولانية هي التي تتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالس يوم

( $\text{Ca(OH)}_2$ ) انما هي السمنت البورتلاندي لتكوين مركبات اكثر استقرارا (Norman F.2005) .

تتميز المواد البوزولانية بالنعومة العالية لدقائقها حيث تغلغل هذه الدقائق بين المسامات الكبيرة للخرسانة مما يؤدي الى انتاج

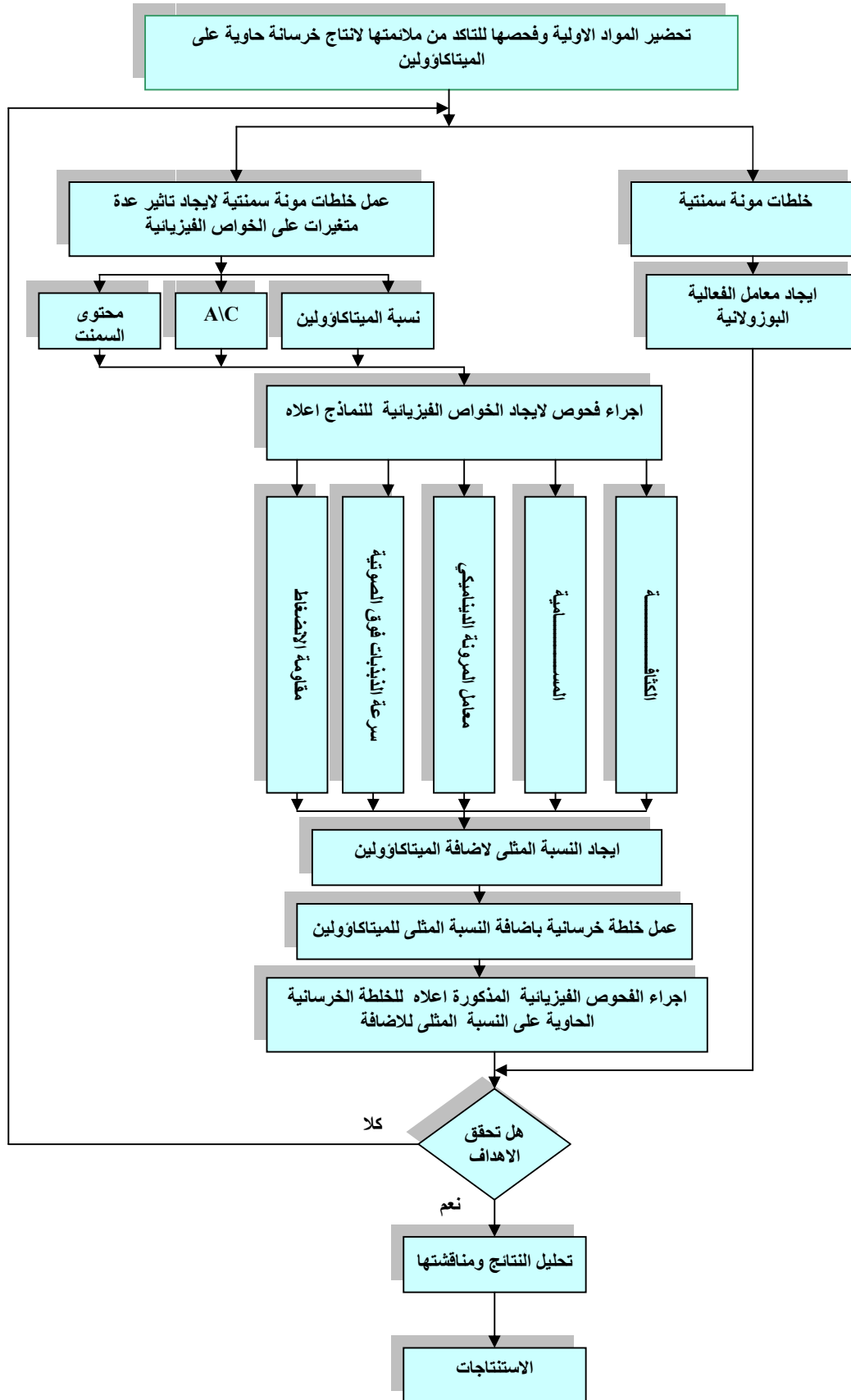
خرسانة عالية الاداء ذات محتوى مسامات قليلة ومقاومة انضغاط عالية تصل الى (70) نيوتن/م<sup>2</sup> وهو ذا من الاسباب

الرئيسية لحدوث جميع مشاكل الخرسانة والتي تؤدي الى تلفها والاضرار بها (Holland 1993) .

واليوم هناك الكثير من البحوث حول هذه المواد البوزولانية لانتاج خرسانة عالية الاداء والادوية في هذا البحث تم استخدام مادة

معدنية طينية محلية متوفرة بكثرة في المناطق الغربية من العراق مثل منطقة دويخلة في محافظة الانبار وهو الكاؤولين حيث تم

حرقه بدرجة عالية من الحرارة لتحويله الى الميكاوولين الفعال ، وتم استخدام الميكاوولين مع مكونات الخرسانة ( السمنت الاعتيادي والركام والملم المضاد انضغاط ) للماء



الشكل 1- المخطط الانسيابي لخطة البحث

## ٣. الخلطات المختبرية

المواصفة الأمريكية (ASTM C-192/02) بذلك يتم الحصول على خلطة خرسانية متماسكة، وبعد الأنتهاء من عملية طابقي دوي يتم صب الخرسانة في قوالب حديدية بعد دزيت جدرانها الداخلية بقا مداهن يذوبت في الماء الرص بأس تخدام المنضدة الهزاة وقضيب حديد دلي تم الرص بصدرة جيدة لتقليل الفجوات وبعد اكتمال الرص جرى تعديله وتسوية وجهه القالب ليكون سطح صقيل بواسطة مالج معدني .

## ٢.٣. الانضاج

بعد الأنتهاء من عملية الصب تم تغطية القوالب مباشرة بغطاء بلاستيكي لمساعدة على تبخر الماء من النماذج المنضدة في وقت مبكر، وبعد دهايم تم اخراج النماذج من القوالب ووضعها في حوض المعالجة المائية لمدة ٢٤ ساعة بين موعدا الفحص بموجب المواصفة الأمريكية (ASTM - C 192/02).

## ٤. النتائج ومناقشتها

ان الهدف الرئيسي من التجارب هو انتاج خرسانة عالية الاداء ذات مقاومة انضغاط عالية ومسامية قليلة ذات خصائص لاجداد الكثافة ومقاومة الانضغاط والمسامية وسرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي .  
يبين الجدول (١) نتائج فحوص المرحلة الاولى وهي خلطات مونة سد منتية بنسب خلط (١:٢:١) على نسب ميثاكا اولين مختلفة (١٠%، ١٥%، ٢٠%) واف من وزن السمنت بعمر ٢٨ يوم .

وبين الجدول (٢) نتائج فحوص المرحلة الثانية وهي خلطات مونة سد منتية بنسب خلط (١:٢:١) على نسب مختلفة من الميثاكا اولين (١٠%، ١٥%، ٢٠%) ووزن السمنت بعمر ٢٨ يوم .

اما الجدول (٣) فيوضح نتائج فحص الخلطة الخرسانية باستخدام نسبة الاضافة المثلى للاضافة (١٠%).

حيث يوضح الشكل (٢) زيادة الكثافة بزيادة نسبة السمنت للمختبرين الاولى والثانية وبموجب الخلطات التجريبية ضد المونة (٥٠٠ - ٧٠٠) كغوبلاط من الشد كل اعلا زيادة الكثافة لخلطات المرحلة الثانية اعلى من خلطات المرحلة الاولى ويعود السبب الى زيادة نسبة السمنت لخلطات المرحلة الثانية .

يتضمن العمل المختبري عدد من الخلطات التجريبية اعتمدا على المتغيرات المختلفة لمنهجي ودراسة تأثير هذه المتغيرات على خواص الخلطات التجريبية، وكما موضح في الشكل (١)، لذلك تم التوصل الى تعيين ثلاث مراحل من الخلطات اعتمدا على تغيير نسب الخلط، وتشمل المرحلتين الاولى والثانية على نسب خلط (١:٢:١)، (١:١:١) على التوالي وتشمل كل مرحلة على سلاسل من الخلطات التجريبية اعتمدا على تغيير محتوى السمنت بين (٥٠٠ - ٧٠٠) كغم/م<sup>٣</sup> وفي كل سلسلة يتم تغيير نسب الميثاكا اولين بين (٥% - ٢٠%) لاجل الفلزات فقط من خلطة خرسانية بنسب خلط (١: ١.٢: ١.٥) حيث تم استخدام ركام خشب بمقاومة ١٠% اقصى وبمحاذاة النسبة المثلثية للميثاكا اولين هي (١٠%) كنسبة وزنية تضاف من وزن السمنت وتحدد بين خواص الخلط السامنتي تخدمت نسبة الماء الى السمنت (٢.٢) مع استخدام الماء المتفوق للخلط على سبب بولته الخلطات، وتم فحص الخواص الفيزيائية للخلطات التي تشتمل على مقاومة الانضغاط، الكثافة، المسامية، فحص الذبذبات فوق الصوتية، معامل المرونة الديناميكي) بعمر ٢٨ يوم .  
تم في هذا البحث استخدام النماذج التالية :-

١. نماذج مكعبة الشد كل ابعاده (٥٠ × ٥٠ × ٥٠) ملم لاجراء فحص معامل الفعالية الوزنية وفحص مقاومة الانضغاط والمسامية وسرعة الذبذبات ابدت تخدمت لخلطات المرحلتين الاولى والثانية .
٢. نماذج مكعبة الشد كل باعدها (٧٠ × ٧٠ × ٧٠) ملم لاجراء فحوص المذكورة اعلا للخلطة الخرسانية .

## ٣.١. طريقة الخلط وتهيئة النماذج

بالنسبة لنماذج الخلطات التجريبية للمرحلتين الاولى والثانية تم الخلط اولاً الركام بصورة جيدة مع اضافة جزء من ماء الخلط الممزوج مع النسبة المثلى من الماء المتفوق بنسبة ١% لجميع لم الخلطات (واحدة، وبتتم خلط السمنت مع دقيق الميثاكا اولين بصدرة جيدة ثم تضاف الى الخلط مع باقي ماء الخلط ويخلط لمدة دقيقتين اضافيتين، اما بالنسبة لخلطات المرحلة الثالثة تم خلط الركام الناعم والركام الخشن حتى يحصل التجانس مع اتباع الطريقة اعلاه لخلطات المرحلتين الاولى والثانية .  
وأجريت عمليات الخلط باستخدام المزج اليدوي بموجب

جدول ١،

نتائج فحوص خلطات المرحلة الاولى متضمنة نسب خلط (١: ٢) بعمر ٢٨ يوم

معامل المرونة الديناميكي (كيباسكال)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	مقاومة الانضغاط (نيوتن /ملم <sup>٢</sup> )	المسامية (%)	الكثافة (كغم/م <sup>٣</sup> )	محتوى المواد السمنتية		نسب الخلط
					الميتاكاولين (كغم /م <sup>٣</sup> )	السمنت (كغم/م <sup>٣</sup> )	
٥٦.٥٩	٤.٨١	٦٦.٢٥	٦.٨٧	٢٤٤٦	٠	٥٠٠	٢: ١
٥٨.٨٧	٤.٩٠	٧٣.٨٤	٥.٤	٢٤٥٢	٥٠	٥٠٠	٢: ١
٥٧.٥٥	٤.٨٤	٧٠.٠٤	٥.٩٤	٢٤٥٧	٧٥	٥٠٠	٢: ١
٥٤.٧٨	٤.٧٢	٥٥.٤٢	٦.٦٣	٢٤٥٩	١٠٠	٥٠٠	٢: ١
٥٧.٤١	٤.٨٣	٦٨.٦٢	٦.٠٠	٢٤٦١	٠	٦٠٠	٢: ١
٦٠.٦٦	٤.٩٥	٧٥.٧١	٤.٤٨	٢٤٧٦	٦٠	٦٠٠	٢: ١
٥٨.٩٨	٤.٨٧	٧٣.٦٦	٤.٩٧	٢٤٨٧	٩٠	٦٠٠	٢: ١
٥٦.٦٣	٤.٧٧	٥٩.٣٥	٥.٤٧	٢٤٨٩	١٢٠	٦٠٠	٢: ١
٥٨.٤٥	٤.٨٦	٧٠.٠٠	٥.٥٤	٢٤٧٥	٠	٧٠٠	٢: ١
٦١.٣٠	٤.٩٧	٧٨.٢٥	٤.٠٠	٢٤٨٢	٧٠	٧٠٠	٢: ١
٥٩.٥١	٤.٨٩	٧٥.٨٨	٤.٥٢	٢٤٨٩	١٠٥	٧٠٠	٢: ١
٥٦.٩١	٤.٧٨	٦٤.٨٤	٥.٠٠	٢٤٩١	١٤٠	٧٠٠	٢: ١

جدول ٢،

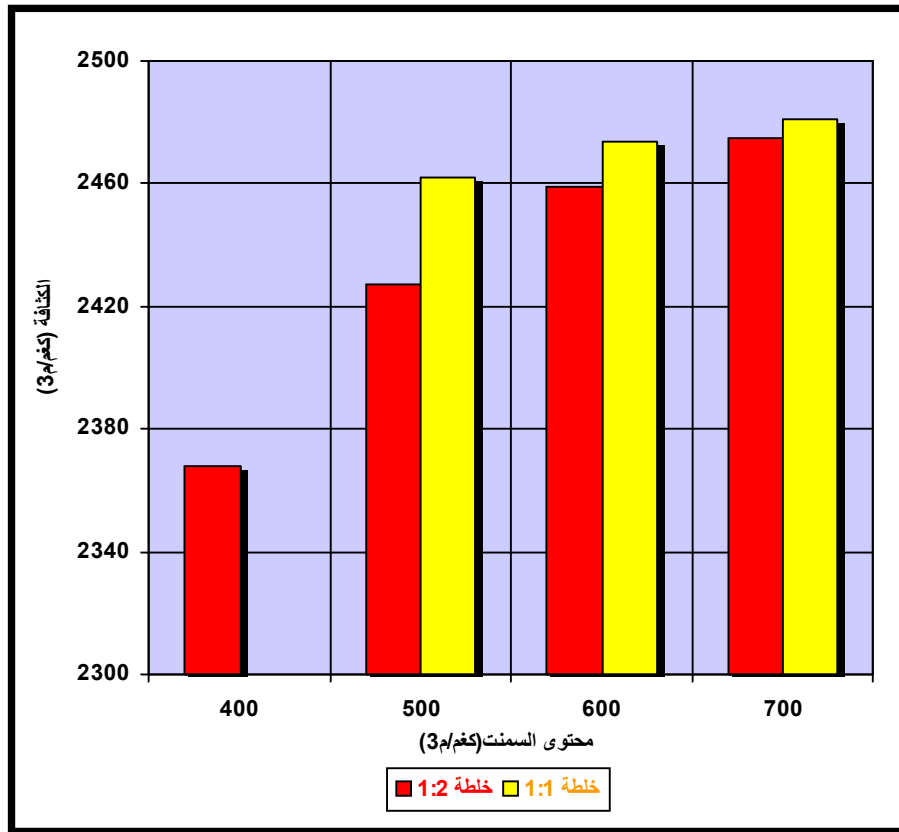
نتائج فحوص خلطات المرحلة الثانية متضمنة نسب خلط (١: ١) بعمر ٢٨ يوم

معامل المرونة الديناميكي (كيباسكال)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	مقاومة الانضغاط (نيوتن /ملم <sup>٢</sup> )	المسامية (%)	الكثافة (كغم/م <sup>٣</sup> )	محتوى المواد السمنتية		نسب الخلط
					الميتاكاولين (كغم /م <sup>٣</sup> )	السمنت (كغم/م <sup>٣</sup> )	
٥٧.٤٣	٤.٨٣	٦٨.١٣	٤.٩	٢٤٦٢	٠	٥٠٠	١: ١
٥٨.١٧	٤.٨٥	٧٤.٢٣	٣.٩٨	٢٤٧٣	٢٥	٥٠٠	١: ١
٦٠.٦٩	٤.٩٥	٧٨.٠٣	٣.٥	٢٤٧٧	٥٠	٥٠٠	١: ١
٥٩.٠٥	٤.٨٨	٧٥.٨٢	٣.٧٦	٢٤٨٠	٧٥	٥٠٠	١: ١
٥٨.٤٣	٤.٨٦	٧٠.٨١	٤.٥٥	٢٤٧٤	٠	٦٠٠	١: ١
٥٨.٧٩	٤.٨٧	٧٦.١٩	٣.٣٤	٢٤٧٩	٣٠	٦٠٠	١: ١
٦١.٥٧	٤.٩٨	٧٩.٦٩	٢.٨٨	٢٤٨٣	٦٠	٦٠٠	١: ١
٦٠.٤٧	٤.٩٣	٧٧.٦٥	٣.١٥	٢٤٨٨	٩٠	٦٠٠	١: ١
٥٩.٠٨	٤.٨٨	٧٣.٦٥	٤.٣٩	٢٤٨١	٠	٧٠٠	١: ١
٥٩.٨٦	٤.٩١	٧٨.٩٧	٣.٠٥	٢٤٨٧	٣٥	٧٠٠	١: ١
٦٢.٠٧	٤.٩٩	٨٠.٧٤	٢.٧٤	٢٤٩٣	٧٠	٧٠٠	١: ١
٦١.١٨	٤.٩٥	٧٦.٦٨	٢.٨	٢٤٩٧	١٠٥	٧٠٠	١: ١

جدول ٣،

نتائج فحوص الخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم

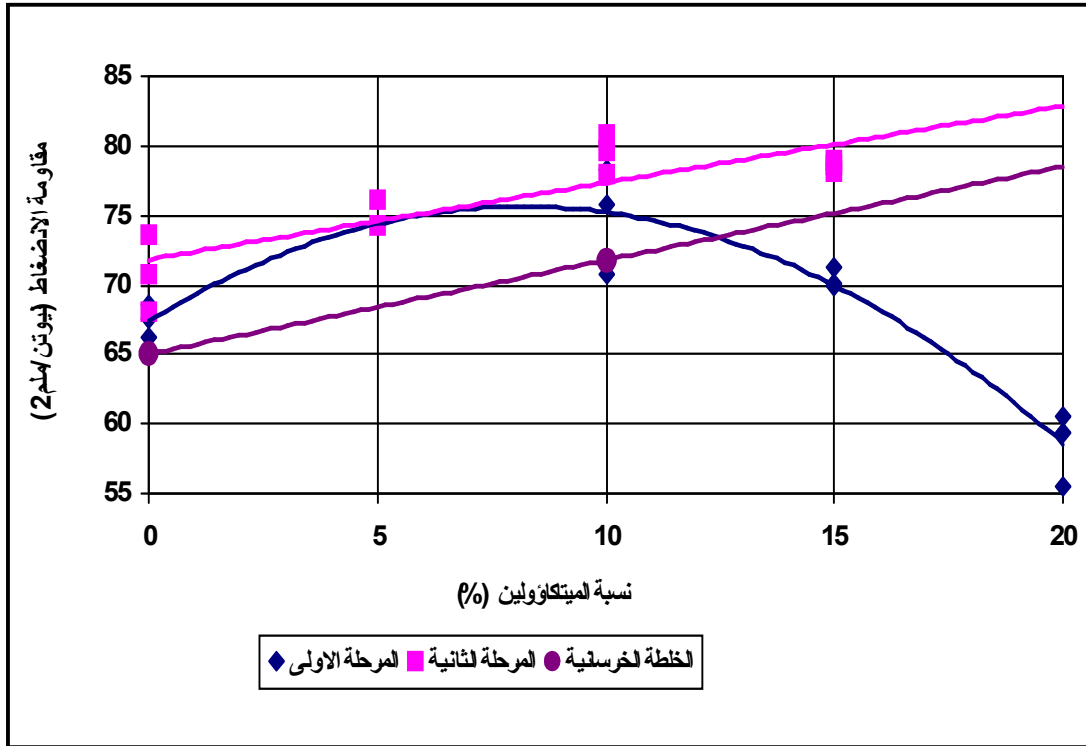
معامل المرونة الديناميكي (كيباسكال)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	مقاومة الانضغاط (نيوتن/ملم <sup>٢</sup> )	المسامية (%)	الكثافة (كغم/م <sup>٣</sup> )	محتوى المواد السمنتية		نسب الخلط
					الميتاكاولين (كغم/م <sup>٣</sup> )	السمنت (كغم/م <sup>٣</sup> )	
٥٦.٢١	٤.٨٠	٦٥.٠٢	٧.٦١	٢٤٤٠	٠	٥٠٠	١.٥: ١.٢: ١
٥٨.٢٥	٤.٨٨	٧١.٧٨	٦.٨٤	٢٤٤٦	٥٠	٥٠٠	١.٥: ١.٢: ١



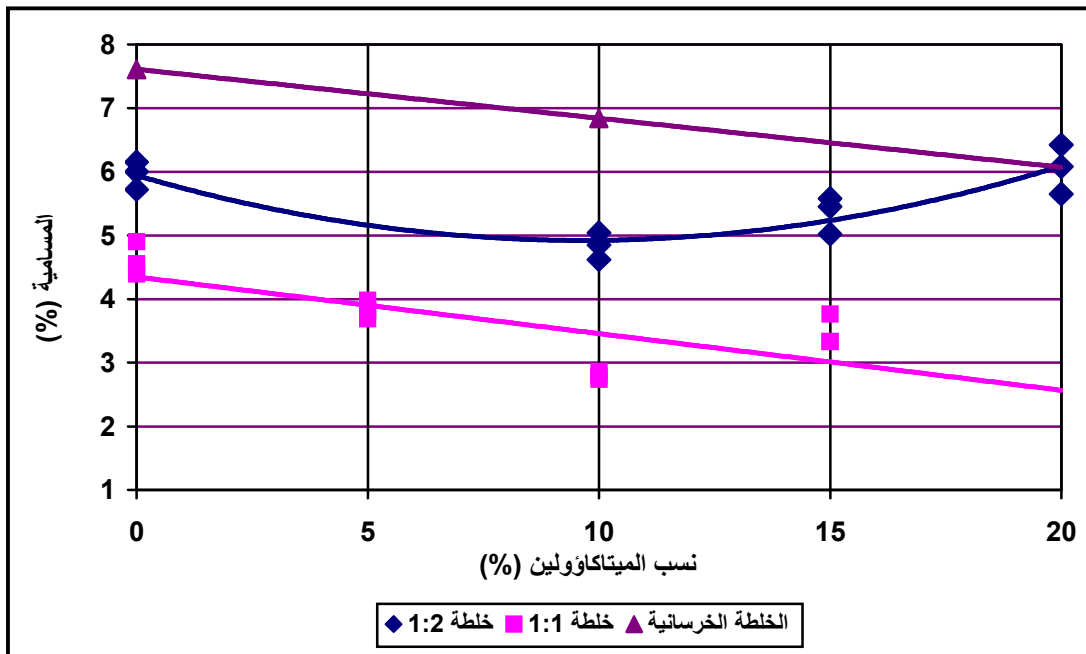
الشكل 2- علاقة الكثافة مع محتوى السمنت ونسبة الركام الى السمنت لكل من خلطات المرحلتين الاولى والثانية

ويلاحظ من الشكل (٣) علاقة مقاومة الانضغاط مع اضافة نسب مختلفة من الميتاكاولين بعمر ٨ يوم لخلطات المرحلتين الاولى والثانية. والثانية مقارنة مع الخلطات المرجعية ماء الخلطات الحاوية والنوعومة العالية للميتاكاولين الى انخفاض في حج المسامات على ميتاكاولين ٢٠٪ التي اظهرت انخفاض في مع دلوكانات في انخفاض بالمسامية للخلطات الحاوية على النسبة مقاومة الانضغاط وبعود السبب الى التفاعلات البوزولانية بطيئة التي تحتاج الى وقت لاكتمال تفاعلاتها، وظهرت النسبة (٣) في مقاومة الانضغاط ولجميع السلاسل وكانت القيم تتراوح بين (٧٣.٤ - ٨٠.٧) نيوتن/ملم<sup>٢</sup>، ويعود سبب الزيادة في مقاومة الانضغاط الى تفاعل السليكا الفعالة مع هيدروكسيد الكالسيوم (Ca(OH)<sub>2</sub>) من امهات السمنت وبالتالي تتكون كمية اكبر من المركب (C-S-H) وهو مركب سمطي مستقر (Bentur 2002).

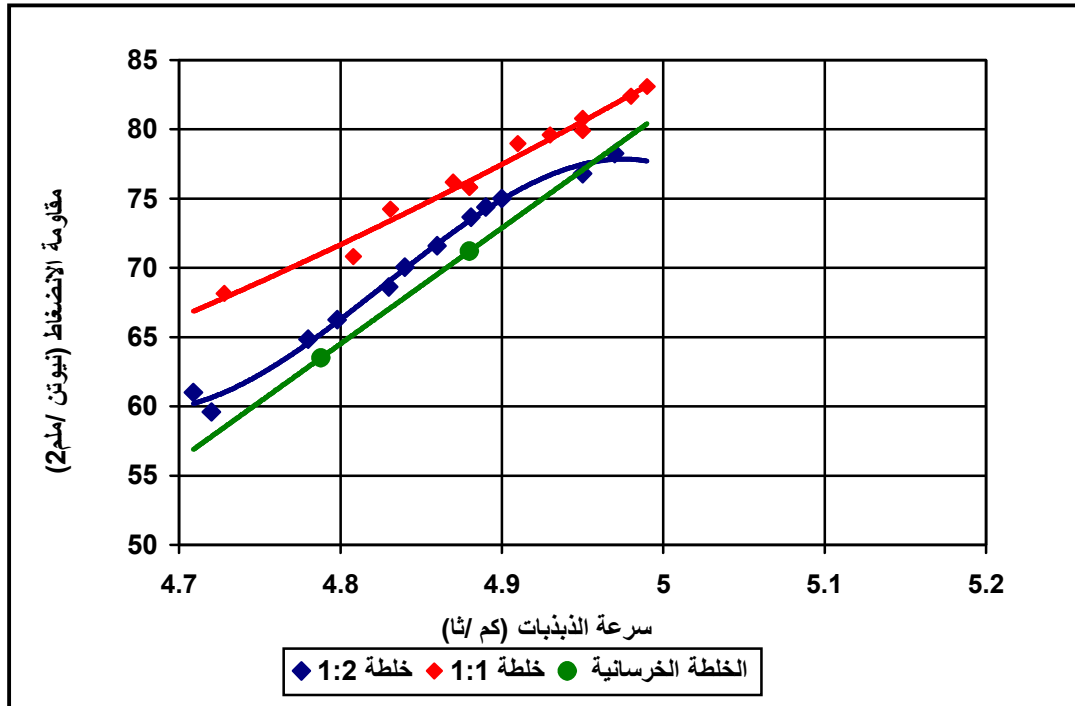
ويوضح جلال الشاذلي (٤) ان نسبة مختلفة من مختلفات مرونة من المسامية حيث يودي التفاعل البوزولاني الى انخفاض في حج المسامات المثلثة تتراوح بين (٤.٥% - ٢.٧%). ويبدو ان الشاذلي (٥) قد وجد ان زيادة مقاومة الانضغاط، حيث تزداد سرعة الذبذبات فوق الصوتية مع زيادة مقاومة الانضغاط. اما الشاذلي (٦) فيوضح ان معامل المرونة الديناميكي مع مقاومة الانضغاط والتي تزداد مع زيادة مقاومة الانضغاط.



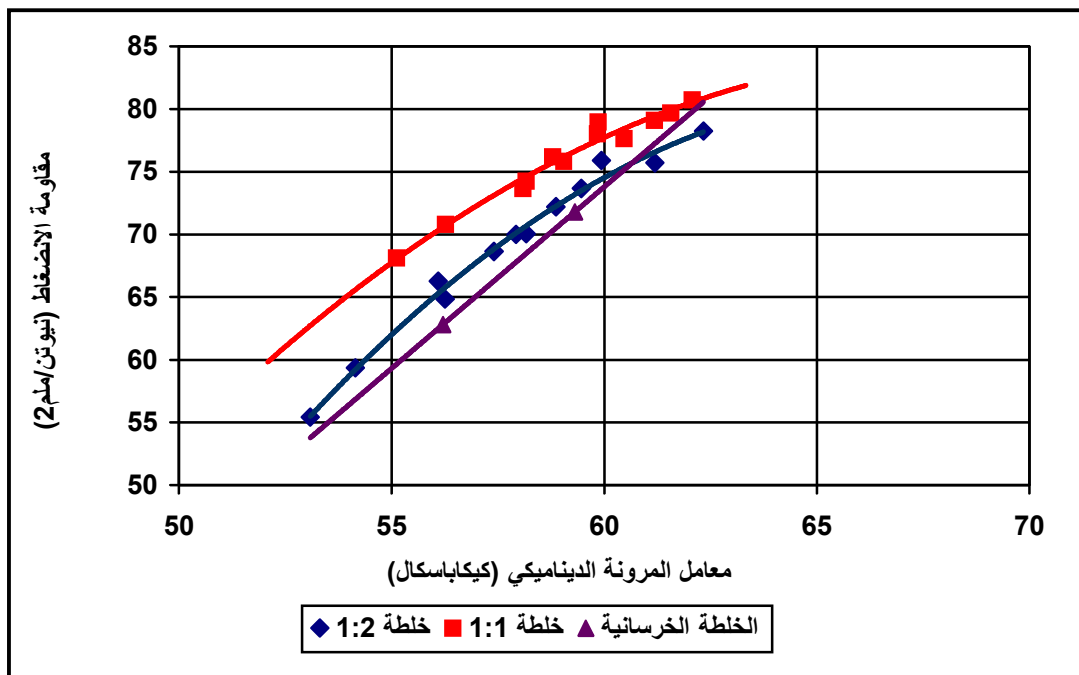
الشكل 3- تأثير اضافة نسب مختلفة من الميتكاولين على مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم



الشكل 4- تأثير اضافة نسب مختلفة من الميتكاولين على المسامية لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم



الشكل ٥- علاقة سرعة الذبذبات فوق الصوتية مع مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم .



الشكل ٦- يوضح علاقة معامل المرونة الديناميكي مع مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم .

## ٥. الاستنتاجات

تم في هذا البحث دراسة الخواص الهندسية للخلطات بإجراء تجارب متعددة وعلى ضوء نتائج هذه التجارب يمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية :-

١. انخفاض معدل الفعالية البوزولانية للميتاكاؤلين المدروق بدرجات حرارة التصلب العالية (١١٠%) .
٢. تزداد الكثافة بزيادة محتوى السمنت حيث توجد علاقة طردية وثيقة بين محتوى السمنت والكثافة لكل من خلطات المرحلتين الأولى والثانية كما أن تزداد الكثافة بزيادة نسبة السمنت إلى الركام .
٣. إن إضافة الميتاكاؤلين إلى الخليط السمنتي يؤدي إلى تحسن ملحوظ في مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الأولى والثانية والخلطة الخرسانية تتفوق على خلطات الحاوية على نسبة إضافة ٢٠% وكانت النسبة المثلى التي تعطي أفضل النتائج لجميع المراحل هي ١٠% كما أن تزداد مقاومة الانضغاط بزيادة محتوى السمنت .
٤. أظهرت نتائج سرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة لديناميكي زيادة واضحة بزيادة الكثافة لكن سرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي للخلطات الحاوية على الميتاكاؤلين أكبر من الخلطات المرجعية .
٥. وحظنا أيضاً إضافة الميتاكاؤلين يؤدي إلى انخفاض في المسامية لخلطات المونة السمنتية والخلطة الخرسانية ، نظراً للنوعية العالية له هذه الماد التي تعمل بدورها على تقليل المسامية وكذلك احتوائه على السليكا التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مما يؤدي إلى زيادة نسبة السمنت وتكوين مركبات سمنتية أكثر استقراراً .

## ٦. المصادر

- [1] American Society for Testing and Material ,C192-02,"Making and curing concrete test specimens in the laboratory ".
- [2] American Society for Testing for material , C311-02 , " Sampling and Testing Fly ash or Natural Pozzolanas for use in Portland-cement concrete ".nine millennia and a new 3-Bentur, A."Cementitious materials-nine millennia and a new century: past, present and future" journal of materials in civil engineering –January-February 2002.
- [3] Holland, C., D. Eng. FACI, "High performance concrete", Reprinted from concrete products, June, 1993.
- [4] Norman F, Macleod P. Eng, "ON the use of Supplementary Cementing Materials (SCM<sub>s</sub>) In Concrete Pavement applications ",March, 2005, Canada.



## **Properties of High Performance Concrete**

**Nada Mahdi Fawzi      ZainAbdeen Mohammed      Luma Ahamed Adia**

*Department of Civil Engineering/ College of Engineering/ University of Baghdad*

---

### **Abstract**

The research deals with a new type of high-performance concrete with improved physical properties, which was prepared by using metal additives minutes (Metakaolin) and by studying their impact on the properties of mortar and concrete high-performance through destructive and non destructive tests. This type of concrete is used broadly in public buildings and in other structures . The research involved a number of experiments such as finding the activity index of burned at a temperature of 750 ° C according to the standard ( ASTM C-311/03), as well as casting models for the cubic mortar mixtures and concrete containers at different rates of metakaolin ranging between (5% - 20%) as an added part to the cement mix to get a high- compressive strength concrete reaching more than (70) N/mm<sup>2</sup> in addition to the decrease in porosity. The research includes standing engineering properties such as density and compressive strength and ultrasonic pulse velocity test and dynamic modulus of elasticity and porosity.

---