Al-Khwarizmi Engineering Journal

Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 6, No. 4, PP 84 - 92 (2010)

الخواص الهندسية للخرسانة عالية الاداء

ندى مهدي فوزي زين العابدين محمد رؤوف لمى احمد عداي

قسم هندسة المواد الانشائية/ كلية الهندسة/ جامعة بغداد

(Received 7 July 2009; Accepted 24 June 2010)

الخلاصة

يتناول البحث نوع جديد من الخرسانة عالية الاداء ذات خواص فيزيائية محسنة والتي تم تحضيرها باستعمال مضافات معدنية دقيقة التجزئة وهو الميتاكاؤولين ودراسة تاثيرها على خواص المونة السمنتية والخرسانة عالية الاداء بالاجراء فحوصات اتلافية وغير اتلافية وهذا النوع من الخرسانة يتم استخدامه بشكل واسع في المباني العامة والمنشآت الاخرى .

البحث يشمل تجارب منها ايجاد معامل البوزولانية للكاؤولين المحروق بدرجة حرارة ٧٥٠ م بموجب المواصفة الاميركية ASTM C-311/03 وكذلك صب نماذج خلطات مونة سمنتية وخرسانية حاوية على نسب مختلفة من الميتاكاؤولين تتراوح بين (٥% - ٢٠%) كجزء مضاف الى الخليط السمنتي للحصول على خرسانة عالية المقاومة تصل مقاومتها الى اكثر من (٧٠) نيوتن/ملم٢ بالاضافة الى انخفاض في المسامية . البحث يشمل ايضاً الخواص الهندسية مثل الكثافة ومقاومة الانضغاط وسرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي والمسامية .

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

١. المقدمة

تطورت الخرسانة تطوراً هائلاً منذ ان استخدمت لاول مرة كمادة انشائية وشمل التطور كل جوانبها وتحسنت طرق صناعتها ، كذلك ظهرت احداث انواع الالات والمعدات المستعملة في صناعتها وتعددت الانواع المختلفة من الخرسانة تبعاً لنوع مكوناتها ومتطلباتها .

حيث يشهد العالم حالياً تطوراً ملحوظاً في مواد واساليب البناء مما ادى الى اكتشاف مواد جديدة تخدم مع مكونات الخرسانة لتحسين خواصها تعرف بالمواد السمنتية الاضافية ، تقسم المواد السمنتية الاضافية الى صنفين على اساس نوع التفاعل ، هيدروليكي التي تتفاعل مباشرة مع الماء مثل السمنت الخبث وبوزولانية هي التي تتفاعل كيميائياً مع هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) ناتج اماهة السمنت البورتلاندي لتكوين مركبات اكثر استقراراً (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 (٧٠) نيوتن/ملم٢ وهذا من الاسباب الرئيسية لحد جميع مشاكل الخرسانة والتي تؤدي الى تلفها والاضرار بها (Holland 1993).

واليوم هناك الكثير من البحوث حول هذه المواد البوزولانية لانتاج خرسانة عالية الاداء 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 حرارية مناسبة للتحويله الى الميتاكاؤولين الفعال ، وتم استعمال الميتاكاؤولين مع مكونات الخرسانة (السمنت الاعتيادي + الركام + الماء + المضافات المقللة للماء بدرجة متفوقة) لانتاج خرسانة عالية المقاومة وقليلة المسامية .

واشتملت خطة البحث ثلاث مراحل رئيسية يمكن ايجازها بمايلي

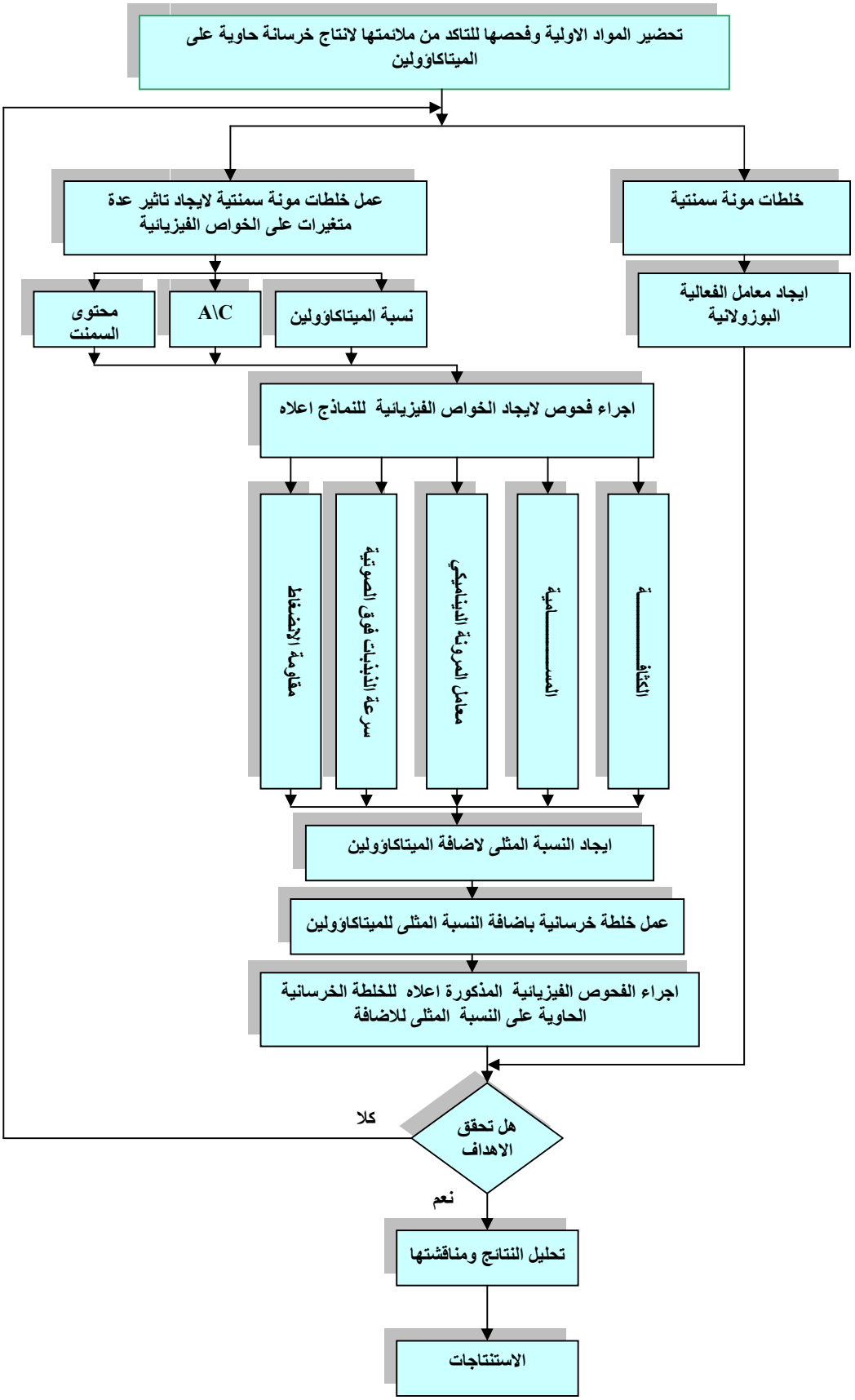
١) تصميم الخلطات التجريبية .
٢) ايجاد الخواص الفيزيائية للخلطات .
٣) تحليل ومناقشة النتائج.

٢. التجارب العملية

في هذا البحث تم استخدام المواد التالية :-

١) استخدام السمنت البورتلاندي الاعتيادي من نوع شرقية انتاج المملكة العربية السعودية .
٢) استخدام ركام ناعم من مقالع منطقة النخيب محتوى الكبريتات له (٠.٣٤%).
٣) استخدام ركام خشن للخلطة الخرسانية من منطقة النباعي وبمقاس اقصى (٥) ملم ، محتوى الكبريتات له (٠.٠٣%).
٤) استخدام الكاؤولين المحروق بدرجة حرارة (٧٥٠) م من منطقة دويخلة في محافظة الانبار مع دل قطر حبيباته ٧٠ % اقل من(١٥) µm.
٥) استخدام ملدن متفوق في هذا البحث كمضاف كيميائي لتقليل الماء بدرجة متفوقة يحمل الاسم التجاري ايكوبيت (VZ) ، ووجدان النسبة التي تم استخدامها هي (١%) من وزن السمنت والتي اعطت قابلية تشغيل ملائمة .
٦) استخدام اسالة بغداد في جميع الخلطات التجريبية في هذا البحث .

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/



الشكل -١- المخطط الانسيابي لخطة البحث

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

٣. الخلطات المختبرية

يتضمن العمل المختبري عدد من الخلطات التجريبية اعتماداً على متغيرات مختلفة منها محتوى السمنت ، نسب الميتاكاؤولين المضافة ، تغير نسب الخلط ودراسة تاثير هذه المتغيرات على خواص الخلطات التجريبية، وكما موضح في الشكل (١)، لذلك تم التوصل الى تعيين ثلاث مراحل من الخلطات اعتماداً على تغيير نسب الخلط ، تشمل المرحلتين الاولى والثانية على نسب خلط (٢:١) ، (١:١) على التوالي وتشمل كل مرحلة على سلاسل من الخلطات التجريبية اعتماداً على تغيير محتوى السمنت بين (٥٠٠ – ٧٠٠) كغم/ م^3 وفي كل سلسلة يتم تغير نسب الميتاكاؤولين بين (٥% - ٢٠%) اما المرحلة الثالثة فتضمن خلطة خرسانية بنسب خلط (١ : ١.٢ : ١.٥) حيث تم استخدام ركام خشن بمقاسات قصوى وباضافة نسبة المثلى للميتاكاؤولين هي (١٠%) كنسبة وزنية تضاف من وزن السمنت ولتحسين خواص الخليط السائل تم استخدام المادة المفرقة للحفاظ على سيولة الخلطات ، وتم فحص الخواص المميزة للخلطات والتي تشمل مقاومة الانضغاط ، الكثافة ، المسامية ، فحص الذبذبات فوق الصوتية ، معامل المرونة الديناميكي) بعمر ٢٨ يوم .

تم في هذا البحث استخدام النماذج التالية :-

١. نماذج مكعبة الشكل ابعادها (٥٠ × ٥٠ × ٥٠) ملم لاجراء فحص معامل الفعالية البوزولانية وفحص مقاومة الانضغاط والمسامية وسرعة الذبذبات استخدمت لخلطات المرحلتين الاولى والثانية .

٢. نماذج مكعبة الشكل بابعاد (٧٠ × ٧٠ × ٧٠) ملم لاجراء فحوص المذكورة اعلاة للخلطة الخرسانية .

١.٣. طريقة الخلط وتهيئة النماذج

بالنسبة لنماذج الخلطات التجريبية للمرحلتين الأولى والثانية تم الخلط أولاً الركام بصورة جيدة مع أضافة جزء من ماء الخلط الممزوج مع النسبة المثلى من الملدن المتوفق لجميع الخلطات (واحدة ، ويتم خلط السمنت مع بقية الميتاكاؤولين بصورة جيدة ثم تضاف الى الخليط مع باقي ماء الخلط ويخلط لمدة دقيقتين أضافيتين ، اما بالنسبة لخلطات المرحلة الثالثة تم خلط الركام الناعم والركام الخشن حتى يحصل التجانس مع اتباع الطريقة أعلاه لخلطات المرحلتين الأولى والثانية . وأجريت عملية الخلط باستخدام المزج اليدوي بموجب المواصفة الأمريكية (ASTM C-192/02) وبعد ذلك يتم الحصول على خلطة خرسانية متماسكة ، وبعد الأنتهاء من عملية الخلط اليدوي يتم صب الخرسانة في قوالب حديدية بعد تزييت جدرانها الداخلية بمادة مزيوت عملية الرص بأستخدام المنضدة الهزازة وقضيب حديدي لتم الرص بصورة جيدة لتقليل الفجوات وبعد أكمال الرص جرى تعديل وتسوية وجه القالب ليكون سطح صقيل بواسطة مالج معدنـــــي .

٢.٣. الانضاج

بعد الأنتهاء من عملية الصب تم تغطية القوالب بمشمع بغطاء بلاستيكي لمدة ٢٤ ساعة لمنع تبخر الماء من النماذج ، وبعدها يتم أخراج النماذج من القوالب ووضعها في حوض المعالجة المائية لحين موعد الفحص بموجب المواصفة الامريكية (ASTM –C 192/02).

٤. النتائج ومناقشتها

ان الهدف الرئيسي من التجارب هو انتاج خرسانة عالية الاداء ذات مقاومة انضغاط عالية ومسامية قليلة لذا تم فحص النماذج لايجاد الكثافة ومقاومة الانضغاط والمسامية وسرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي .

يبين الجدول (١) نتائج فحوص المرحلة الاولى وهي خلطات موزونة سمنتية بنسب خلط (حاوية) على نسب ميتاكاؤولين مختلفة (١٠%، ١٥%، ٢٠%) كاف من وزن السمنت بعمر ٢٨ يوم .

ويبين الجدول (٢) نتائج فحوص المرحلة الثانية وهي خلطات موزونة سمنتية بنسب خلط (حاوية) على نسب مختلفة من الميتاكاؤولين (٥%، ١٠%، ١٥%) من وزن السمنت بعمر ٢٨ يوم

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

حيث يوضح الشكل (٢) زيادة الكثافة بزيادة محتوى السمنت للمرحلتين الاولى والثانية وبموجب الخلطات التجريبية ضمن المدى (٥٠٠ – ٧٠٠) كغم/م^3 ظهر من الشكل ان زيادة الكثافة لخلطات المرحلة الثانية اعلى من خلطات المرحلة الاولى ويعود السبب الى زيادة نسبة السمنت لخلطات المرحلة الثانية .

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

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

نسب الخلط	محتوى المواد السمنتية		الكثافة (كغم/م^3)	المسامية (%)	مقاومةالانضغاط (نيوتن /ملم٢)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	معامل المرونة الديناميكي (كيكاباسكال)
	السمنت (كغم/م^3)	الميتاكاؤولين (كغم /م^3)					
١: ٢	٥٠٠	٠	٢٤٤٦	٦.٨٧	٦٦.٢٥	٤.٨١	٥٦.٥٩
١: ٢	٥٠٠	٥٠	٢٤٥٢	٥.٤	٧٣.٨٤	٤.٩٠	٥٨.٨٧
١: ٢	٥٠٠	٧٥	٢٤٥٧	٥.٩٤	٧٠.٠٤	٤.٨٤	٥٧.٥٥
١: ٢	٥٠٠	١٠٠	٢٤٥٩	٦.٦٣	٥٥.٤٢	٤.٧٢	٥٤.٧٨
١: ٢	٦٠٠	٠	٢٤٦١	٦.٠٠	٦٨.٦٢	٤.٨٣	٥٧.٤١
١: ٢	٦٠٠	٦٠	٢٤٧٦	٤.٤٨	٧٥.٧١	٤.٩٥	٦٠.٦٦
١: ٢	٦٠٠	٩٠	٢٤٨٧	٤.٩٧	٧٣.٦٦	٤.٨٧	٥٨.٩٨
١: ٢	٦٠٠	١٢٠	٢٤٨٩	٥.٤٧	٥٩.٣٥	٤.٧٧	٥٦.٦٣
١: ٢	٧٠٠	٠	٢٤٧٥	٥.٥٤	٧٠.٠٠	٤.٨٦	٥٨.٤٥
١: ٢	٧٠٠	٧٠	٢٤٨٢	٤.٠٠	٧٨.٢٥	٤.٩٧	٦١.٣٠
١: ٢	٧٠٠	١٠٥	٢٤٨٩	٤.٥٢	٧٥.٨٨	٤.٨٩	٥٩.٥١
١: ٢	٧٠٠	١٤٠	٢٤٩١	٥.٠٠	٦٤.٨٤	٤.٧٨	٥٦.٩١

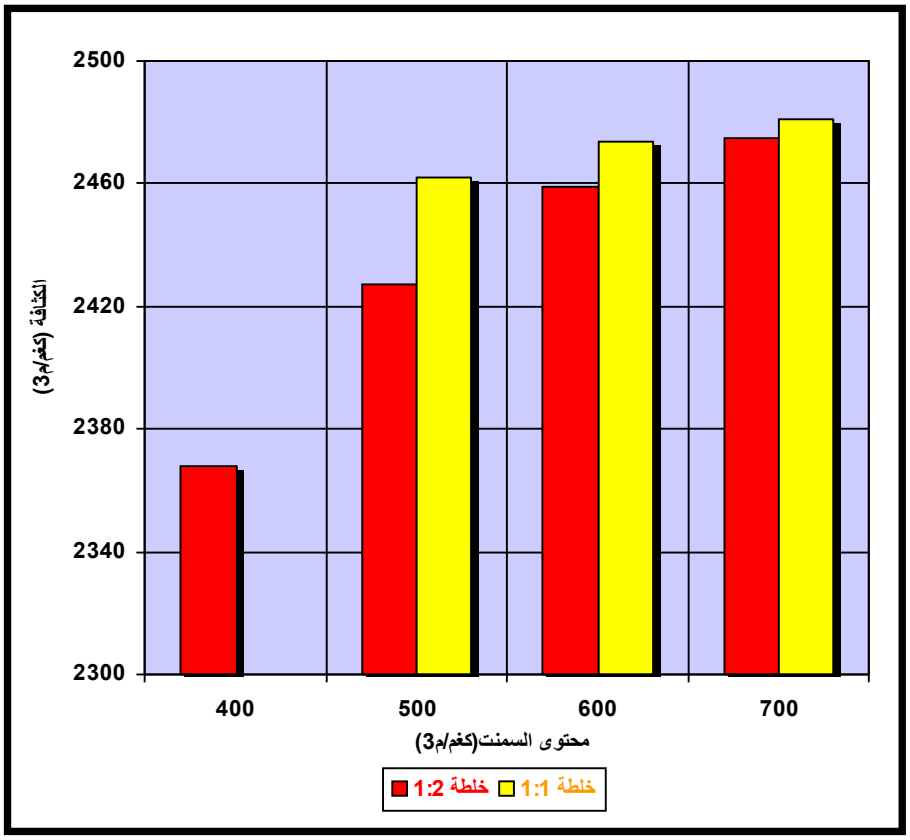
جدول ٢،
نتائج فحوص خلطات المرحلة الثانية متضمنة نسب خلط (١ :١) بعمر ٢٨ يوم

نسب الخلط	محتوى المواد السمنتية		الكثافة (كغم/م^3)	المسامية (%)	مقاومةالانضغاط (نيوتن /ملم٢)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	معامل المرونة الديناميكي (كيكاباسكال)
	السمنت (كغم/م^3)	الميتاكاؤولين (كغم /م^3)					
١: ١	٥٠٠	٠	٢٤٦٢	٤.٩	٦٨.١٣	٤.٨٣	٥٧.٤٣
١: ١	٥٠٠	٢٥	٢٤٧٣	٣.٩٨	٧٤.٢٣	٤.٨٥	٥٨.١٧
١: ١	٥٠٠	٥٠	٢٤٧٧	٣.٥	٧٨.٠٣	٤.٩٥	٦٠.٦٩
١: ١	٥٠٠	٧٥	٢٤٨٠	٣.٧٦	٧٥.٨٢	٤.٨٨	٥٩.٠٥
١: ١	٦٠٠	٠	٢٤٧٤	٤.٥٥	٧٠.٨١	٤.٨٦	٥٨.٤٣
١: ١	٦٠٠	٣٠	٢٤٧٩	٣.٣٤	٧٦.١٩	٤.٨٧	٥٨.٧٩
١: ١	٦٠٠	٦٠	٢٤٨٣	٢.٨٨	٧٩.٦٩	٤.٩٨	٦١.٥٧
١: ١	٦٠٠	٩٠	٢٤٨٨	٣.١٥	٧٧.٦٥	٤.٩٣	٦٠.٤٧
١: ١	٧٠٠	٠	٢٤٨١	٤.٣٩	٧٣.٦٥	٤.٨٨	٥٩.٠٨
١: ١	٧٠٠	٣٥	٢٤٨٧	٣.٠٥	٧٨.٩٧	٤.٩١	٥٩.٨٦
١: ١	٧٠٠	٧٠	٢٤٩٣	٢.٧٤	٨٠.٧٤	٤.٩٩	٦٢.٠٧
١: ١	٧٠٠	١٠٥	٢٤٩٧	٢.٨	٧٦.٦٨	٤.٩٥	٦١.١٨

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

جدول ٣،
نتائج فحوص الخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم

نسب الخلط	محتوى المواد السمنتية		الكثافة (كغم/م^3)	المسامية (%)	مقاومة الانضغاط (نيوتن /ملم^2)	سرعة الذبذبات فوق الصوتية (كم/ثا)	معامل المرونة الديناميكي (كيكاباسكال)
	السمنت (كغم/م^3)	الميتاكاؤولين (كغم/م^3)					
١: ١.٢: ١.٥	٥٠٠	٠	٢٤٤٠	٧.٦١	٦٥.٠٢	٤.٨٠	٥٦.٢١
١: ١.٢: ١.٥	٥٠٠	٥٠	٢٤٤٦	٦.٨٤	٧١.٧٨	٤.٨٨	٥٨.٢٥



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

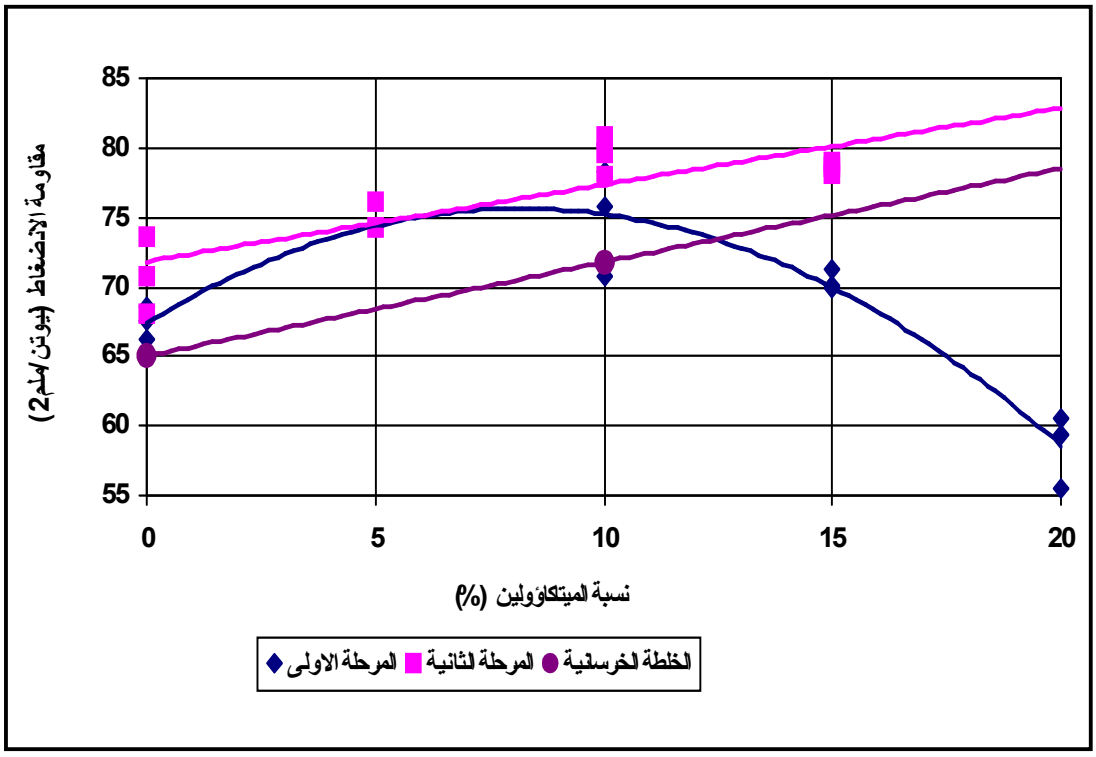
ويلاحظ من الشكل (٣) علاقة مقاومة الانضغاط مع اضافة نسب مختلفة من الميتاكاؤولين بعمر ٢٨ يوم لخلطات المرحلتين الاولى والثانية مقارنة مع الخلطات المرجعية ماء دا الخلطات الحاوية والنعومة العالية للميتاكاؤولين الى انخفاض في حجم المسامات على ميتاكاؤولين (٢٠%) التي اظهرت انخفاض في معدل مقاومة الانضغاط ويعود السبب الى التفاعلات البوزولانية بطيئة التي تحتاج الى وقت لاكمال تفاعلاتها ، واظهرت النسبة (٥%) انخفاض حاد في مقاومة الانضغاط ولجميع السلاسل وكانت القيم تتراوح بين (٧٣.٤- ٨٠.٧) نيوتن /ملم^2، ويعود سبب الزيادة في مقاومة الانضغاط الى تفاعل السليكا الفعالة مع هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) من اماهة السمنت وبالتالي تتكون كمية اكبر من المركب (C-S-H) وهو مركب سمنتي مستقر (Bentur 2002).

ويوضح الشكل (٤) اضافة نسب مختلفة من الميتاكاؤولين على المسامية حيث يؤدي التفاعل البوزولاني المثلى تتراوح بين (٥.٤% -٢.٧%) .

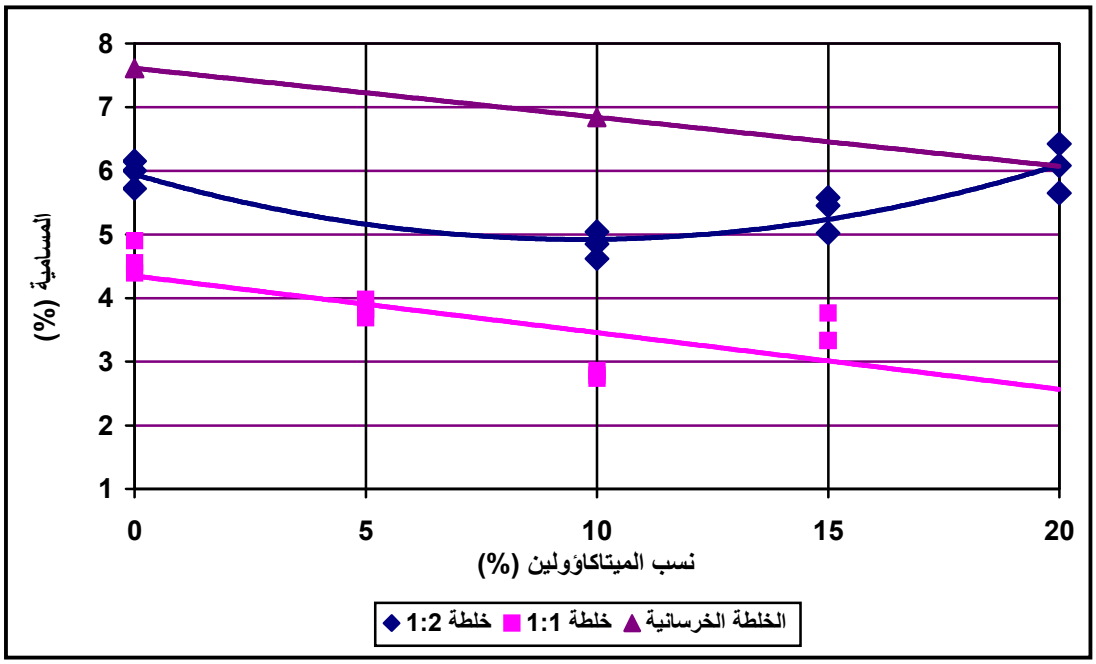
ويبين الشكل (٥) علاقة سرعة الذبذبات فوق الصوتية مع مقاومة الانضغاط ، حيث تزداد سرعة الذبذبات فوق الصوتية مع زيادة مقاومة الانضغاط .

اما الشكل (٦) يوضح العلاقة بين معامل المرونة الديناميكي مع مقاومة الانضغاط والتي تزداد مع زيادة مقاومة الانضغاط .

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

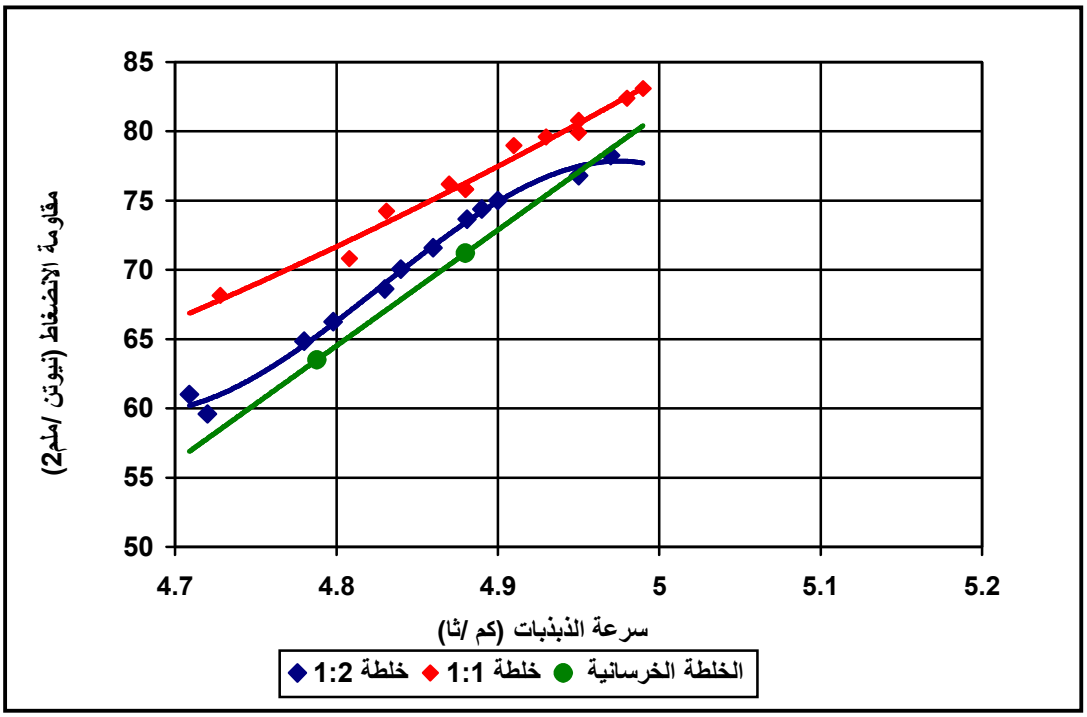


الشكل -٣- تاثير اضافة نسب مختلفة من الميتاكاؤولين على مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم

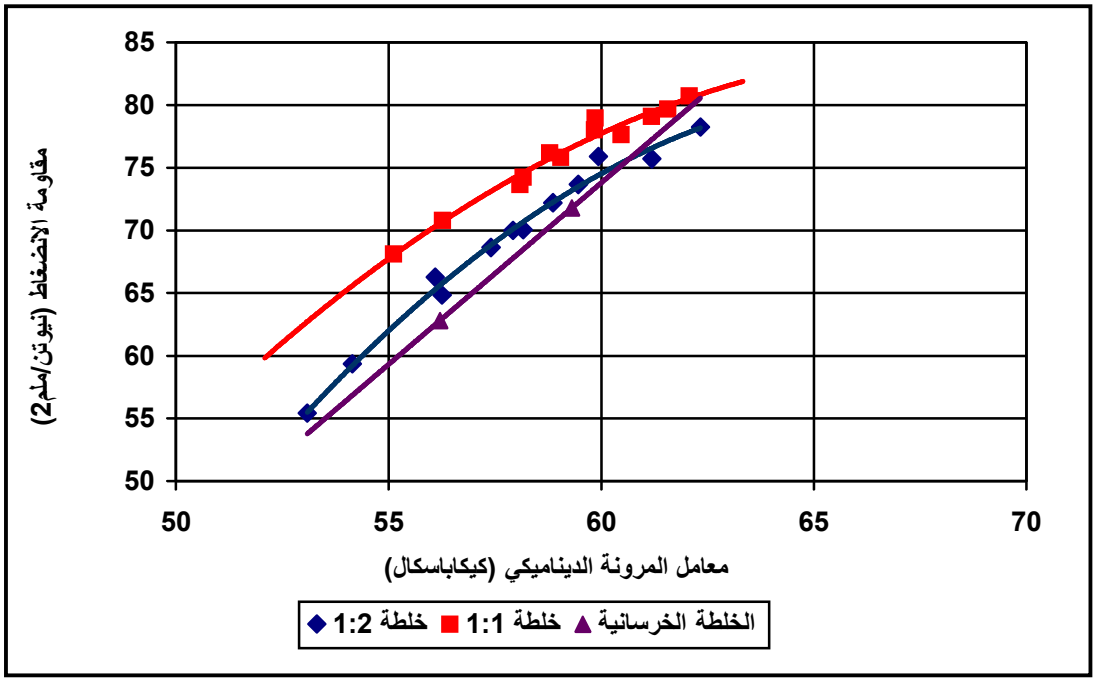


الشكل -٤- تاثير اضافة نسب مختلفة من الميتاكاؤولين على المسامية لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/



الشكل ـ٥ـ علاقة سرعة الذبذبات فوق الصوتية مع مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم .



الشكل ـ٦ـ يوضح علاقة معامل المرونة الديناميكي مع مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم .

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

٥. الاستنتاجات

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

١. ان اضافة الميتاكاؤولين البوزولانية للميتاكاؤولين المحروق بدرجة حرارة ٨٠٠°م الحصول على مادة بوزولانية فعالة معامل فعاليتها يساوي (١١٠%).
٢. تزداد الكثافة بزيادةمحتوى السمنت حيث توجد علاقة طردية وثيقة بين محتوى السمنت والكثافة لكل من خلطات المرحلتين الاولى والثانية كما تزداد الكثافة بزيادة نسبة السمنت الى الركام .
٣. ان اضافة الميتاكاؤولين الى الخليط السمنتي يؤدي الى تحسن ملحوظ في مقاومة الانضغاط لخلطات المرحلتين الاولى والثانية والخلطة الخرسانية بعمر ٢٨ يوم ماعدا الخلطات الحاوية على نسبة اضافة ٢٠% وكانت النسبة المثلى التي تعطي افضل النتائج لجميع المراحل هي ١٠% كما تزداد مقاومة الانضغاط بزيادة محتوى السمنت .
٤. اظهرت نتائج سرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة لديناميكي زيادة واضحة بزيادة الكثافة لكن سرعة الذبذبات فوق الصوتية ومعامل المرونة الديناميكي للخلطات الحاوية على الميتاكاؤولين اكبر من الخلطات المرجعية .
٥. وحظ ان اضافة الميتاكاؤولين يؤدي الى انخفاض في المسامية لخلطات المونة السمنتية والخلطة الخرسانية ، نظراً للنعومة العالية لهذه المواد التي تعمل بدورها على تقليل المسامية وكذلك احتوائها على السليكا التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من اماهة السمنت وتكوين مركبات سمنتية اكثر 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."Cementitous 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_S) In Concrete Pavement applications ",March, 2005, Canada.

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/

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 studing 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 º 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^2 in addition to the decrease in porosity. The research includes standying engineering properties such as density and compressive strength and ultrasonic pulse velocity test and dynamic modulus of elasticity and porosity.

This page was created using **Nitro PDF** trial software.
To purchase, go to http://www.nitropdf.com/