مجلة بحوث البناء
المجلد (٩) العدد (١) ٢٠٢٤

تأثير اضافة الميتاكاؤولين على الخواص الفيزيائية لمونة السمنت

*[١]زياد ممتاز محمد، [٢]هند حسين حمد، [١]ولاء طارق رضا، [١] ثامر عبد الائمة عبد الرضا، [١]وليد خالد كاظم

[١] قسم مواد البناء، دائرة بحوث البناء, بغداد, العراق
[٢] قسم العلوم النظرية، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة بغداد، بغداد، العراق

الخلاصة

مونة السمنت العادية هي واحدة من مواد البناء الواسعة الاستخدام ، لذا تستمر البحوث في مجال تحسين اداءها ومواصفاتها للتقليل من المشاكل التي تتعرض لها عند الاستخدام ،تم في هذا البحث دراسة تأثير اضافة مسحوق الميتاكاؤولين بنسب معينة على الخواص الفيزيائية لمونة السمنت ، كانت جميع المواد الاولية المستخدمة لتهيئة خلطات المونة في هذا البحث محلية الصنع اذ تم استخدام سمنت كبيسة البورتلاندي العادي كما تم جلب الكاؤولين الخام من منطقة الحسينية وحرق بدرجة حرارة (٧٥٠) م° للحصول على مسحوق الميتاكاؤولين كما استخدم رمل CEN القياسي ،هيأت ستة انواع من الخلطات منها الخلطة المرجعية وخمس خلطات تحتوي مضاف الميتاكاؤولين بنسب اضافة وزنية (٢٥،٢٠،١٥،١٠،٥) % كإبدال جزئي من وزن السمنت وتم تهيئة نسب الخلط حسب متطلبات الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ١/١٩٨ لسنة ٢٠٢١، اختبرت النماذج المهيئة بالابعاد (٤*٤*١٦) سم لتحديد افضل الخلطات وافضل نسبة لاضافة مسحوق الميتاكاؤولين وذلك بإجراء الفحوص الفيزيائية والتي تشمل كل من (مقاومة الانضغاط، الكثافة، مقاومة الانحناء ،الامتصاص، زمن التماسك، فحص المجهر الالكتروني، التغير الطولي) ومن نتائج الفحوص تم التوصل الى ان الخلطة المحتوية على ٢٠٪ من مضاف مسحوق الميتاكاؤولين والمشار لها بالرمز (E) كانت افضل الخلطات حيث تم تحسين مقاومة الانضغاط لتصل الى (٥٢,١١) نت/ملم^{٢} وبكثافة (٢,٠٤)غم/سم^{٣} كما تم تحسين مقاومة الانحناء وتقليل زمن التماسك الابتدائي والنهائي للخلطة والتقليل من التغير الطولي للمونة مقارنة مع نتائج فحص مونة الخلطة المرجعية وتمت مطابقة نتائج الفحوص المختبرية مع حدود المواصفة العراقية رقم (٥) لسنة ٢٠١٩.

الكلمات الرئيسية: مونة السمنت، الميتاكاؤولين، الكاؤولين.

*المؤلف المراسل: زياد ممتاز محمد
ziyad52005@yahoo.com

١. المقدمة

تعتبر مونة السمنت عنصرا اساسيا في اعمال البناء ، اذ تستخدم لربط وحدات الطابوق والخرسانة اضافة الى استخدامها في اعمال لبخ الجدران الداخلية والخارجية ، وتتعرض مونة السمنت عند استخدامها بالرغم من تمتعها بقدرة عالية على مقاومة عوامل التعرية وخاصة عند الاستخدام الخارجي الى مشاكل عديدة مثل ظهور التشققات الشعرية او العميقة او حتى تلف وتساقط طبقة المونة، وتعتمد خواص المونة على مكوناتها الاساسية وهي السمنت ونسبة الماء المضاف الى السمنت واسلوب المعالجة واهم هذه الخواص هي قدرتها العالية على الالتصاق بوحدات الطابوق او الخرسانة اضافة الى المتانة والقوة وقابلية التشغيل عند الاستخدام ومقاومتها للماء اضافة الى مقاومة الكبريتات والحرارة والتجمد وتعتبر كثافة المونة اهم مميزاتها والتي تكسبها معظم الخواص المذكورة سابقا ، لذا نجد الكثير من الباحثين الذين اجروا العديد من البحوث باستخدام تقنيات مختلفة واضافة مواد عديدة مثل الرماد المتطاير ورغوة السليكا او الخبث او الميتاكاؤولين للحصول على منافع من عدة جوانب وأحد هذه المنافع هي تقليل [١] انبعاث غاز ثاني اوكسيد الكاربون (Carbon Dioxide) الناتج من اماهة السمنت الذي يسبب تلوث البيئة المحيطة ورفع درجة حرارتها، ان ٨٪ من انبعاث هذا الغاز حول العالم ناتج من صناعة السمنت لذا كان لتقليل نسبة السمنت في صناعة المونة او الخرسانة تأثير في خفض نسبة غاز ثاني اوكسيد الكاربون والاضرار الناتجة منه حيث توجه الباحثين الى تقليل الاثار الجانبية الناتجة من صناعة السمنت والتي تسبب تلوث عالي من انبعاث غاز CO_2 اضافة الى الطاقة العالية المستهلكة اثناء التصنيع اذ قاموا باستبدال جزء من السمنت في الخلطة بمواد اخرى مثل الرماد المتطاير والخبث وابخرة السليكا وغيرها ، واستخدم احد الباحثون [٢] رغوة السليكا كبديل جزئي عن السمنت بنسبة (٣٠٪ ، ٤٠٪ ، ٥٠٪ ، ٦٠٪ ، ٧٠٪) واجريت العديد من الفحوص على نماذج الخرسانة المهيئة منها مقاومة الانضغاط ، الامتصاص ، الكثافة الظاهرية ، حجم الفراغات المفتوحة لتحديد تأثير الاستبدال واشارت النتائج الى ان افضل خليط هو المحتوي على (٥٠٪) حيث لوحظ تحسن في مقاومة امتصاص الماء بنسبة (٨٪) وتحسن في مقاومة الانضغاط بنسبة (٨٣٪ ،٧٤٪ ، ٧٥٪) للفحص عند (٧،١٤،٢٨) يوم على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية.

قام الباحث [٣] باستبدال السمنت بنسبة وزنية بمواد بوزولانية وكربونات الكالسيوم حيث تمت تهيئة خلطات نماذج تحتوي على الرماد المتطاير بنسبة تتراوح بين (٥ – ٣٠)% ورغوة السليكا بنسبة (٥ – ١٥)% وكربونات الكالسيوم بنسبة (٥ – ١٥)% من محتوى السمنت الكلي ، وتم اجراء فحص مقاومة الانضغاط عند الاعمار (٧،١٤،٢٨،٥٦) يوم اظهرت النتائج الى ان زيادة نسب الابدال بالرماد المتطاير وكربونات الكالسيوم ادى الى زيادة قابلية التشغيل والمقاومة، في حين كان لاستخدام رغوة السليكا تاثير في تقليل قابلية التشغيل مما يتطلب اضافة الملدن لتحسين قابلية التشغيل ،كما قام احد الباحثون [٤] باستخدام مسحوق الميتاكاؤولين وبودرة السليكا الناعمة (Nano Silica) بمقاسات ناعمة جدا كبديل جزئي عن السمنت ليس فقط لتقليل المسامات في المونة بل لتحسين الخواص الميكانيكية لها حيث استخدم الميتاكاؤولين والنانوسليكا وتم دراسة تاثيرها على خواص المونة والخرسانة الكونكريتية وقد وجد ان التأثير المشترك لكل من الميتاكاؤولين والنانو سليكا على المسامات ظهر في تقليلها داخل المونة ووجد الباحث ان استبدال الميتاكاؤولين بنسبة ٢٠٪ من وزن السمنت ادى الى زيادة في مقاومة الانضغاط بنسبة ١٩٪

وزيادة بنسبة ١٦٪ في مقاومة الانحناء في حين ادى اضافة النانو سليكا الى حد ٤٪ مع ٢٠٪ ميتاكاؤولين الى زيادة في مقاومة الانضغاط بنسبة ٢٩٪ مقارنة بالخلطة المحنوية على ٢٠٪ ميتاكاؤولين فقط ، كما لاحظ الباحث الى ان زيادة نسبة النانو سليكا الى ٦٪ مع بقاء نسبة ٢٠٪ ميتاكاؤولين ادت الى تقليل في مقاومة الانضغاط ، ويعتبر الميتاكاؤولين وهو سيليكات الالمنيوم منشطة حراريا ذات نشاط بوزولاني عالي يتجاوز تأثير نشاط رغوة السليكا ويؤدي استخدامه في المواد الخرسانية الى زيادة جودة الخرسانة كما يؤدي الى تقليل الانكماش وتعزيز القوة والتحكم في تفاعل الركام القلوي والحد من خطر التآكل الناجم عن الكلوريد لحديد التسليح لذا يعتبر الميتاكاؤولين من المواد التكميلية المهمة في صناعة الخرسانة عالية الاداء [٥] لتعزيز سيولة الخلطة واعطاء قوة للخرسانة وتقليل نسبة الملدن المضاف ، ومن البحوث [٥] التي درست امكانية استخدام الميتاكاؤولين كمادة مضافة الى السمنت البورتلندي لتحسين خواصه، هو البحث الذي درس الخواص المحسنة للسمنت بعد اضافة الملدنات الفائقة وبنسب محددة ، ووجد ان اضافة الميتاكاؤولين مع السمنت البورتلاندي ادت الى زيادة مقاومة الانضغاط في حين ان قابلية التشغيل كانت اقل من اضافة الملدن المتفوق للسمنت ، وعند اضافة ١٠٪ من الميتاكاؤولين مع ٢٠٪ او ٣٠٪ خبث الافران حصلت زيادة في مقاومة الانضغاط اضافة الى تحسين في قابلية التشغيل مما يشير الى امكانية استخدام الخبث لتحسين خواص السمنت المخلوط مع الميتاكاؤولين ,وقد تم التوصل من بحوث عديدة بان الكاؤولين وهو واحد من مجموعة من الاطيان التي تستخدم لإنتاج المواد البوزلانية مثل اطيان المونتمورلينايت والالايت بانه يعطي اكثر فعالية بوزلانية بعد الحرق مقارنة مع بقية الاطيان مثل الأليات والذي يدخل بشكل واسع لإنتاج مواد البناء السيراميكية مثل الطابوق والبلاطات الارضية والتي يستخدم التالف منها ايضا كمضافات لتحسين خواص المونة او الخرسانة كبديل جزئي عن السمنت[٦].

٢. هدف البحث

بسبب الانتشار الواسع لمونة السمنت كأحد اكثر مواد البناء استخداما ولتأثير المواد الاولية الداخلة في انتاجها على جودة عملها ولتأثيرها السلبي على البيئة المحيطة نتيجة انبعاث الغازات الملوثة لها والناتجة من تفاعل المواد الاولية في المونة لذا كان الهدف من البحث هو تقليل محتوى المونة من المواد المسببة للانبعاث والمتمثلة بالسمنت واستبدالها بمواد اكثر امانا عند الاستخدام ولا تسبب تلوث للبيئة وبنفس الوقت تكون مناسبة للاستخدام من حيث تحسين خواص المونة وسهولة وكلف تحضيرها وتتمثل هذه المواد بالميتاكاؤولين كمادة بديلة جزئيا عن وزن السمنت ودراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية للمونة المنتجة ومطابقتها مع المواصفات المحلية والعالمية.

٣- الجانب العملي

٣-١ تهيئة المواد الاولية

٣-١-١مسحوق الميتاكاؤولين

مادة بوزولانية يتم الحصول عليها من (حرق) كلسنة اطيان الكاؤولين بدرجة حرارة تتراوح بين (٥٠٠-٨٠٠) م° ،المادة الخام الداخلة في صناعة الميتاكاؤولين ($Al_2Si_2O_7$) هي خام الكاؤولين والذي يتوفر في مناطق عدة في العراق ومنها منطقة الحسينية والذي تم جلب الكاؤولين الخام منها اذ يشكل طبقة سطحية تغطي خام الحديد والتي يتم ازالتها عند استخراج

الحديد وبالتالي تكون كلفة الاستخراج شبه معدومة ، حرق الكاؤولين الخام بدرجة حرارة (٧٥٠) م° وبزمن انضاج ساعة واحدة للحصول على مسحوق الميتاكاؤولين, ويبين الشكل رقم (١) صورة للكاؤولين المستخدم قبل وبعد الحرق.

شكل رقم (١): الكاؤولين الخام قبل وبعد الحرق

يتفاعل الميتاكاؤولين مع مركب هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ لانتاج مادة CSH الهلامية عند درجة حرارة معينة ويتفاعل مع CH لانتاج مركبات الالومينا C_4AH_{13}, C_3AH_6,C_2ASH_8 تتراوح اقطار حبيبات الميتاكاؤولين وبنسبة ٩٩,٩٪ بقطر اقل من ١٦ مايكرون في حين تشكل الحبيبات بقطر٣ مايكرون النسبة العظمى منه [٧] ، ويبين الجدول رقم(١) التحليل الكيميائي والجدول رقم (٢) الخواص الفيزيائية للميتاكاؤولين والمطابقة لحدود المواصفة الامريكية ٦١٨ C٢٠١٥/٥ [٨].

جدول (١): التحليل الكيميائي للميتاكاؤولين

الاكاسيد	الميتاكاؤولين %
L.O.I	٠,٨٧
SiO_2	٥٢,٤٦
Al_2O_3	٣٩,٢٥
Fe_2O_3	١,٢٥
SO_3	Nil
CaO	١,١٣
MgO	٠,٥١
Total	٩٥,٤٧

الجدول (٢): الخواص الفيزيائية للميتاكاؤولين

الخواص الفيزيائية	الميتاكاؤولين العالي الفعالية	حدود متطلبات المواصفة الامريكية ASTM C- ٦١٨/١٥
المظهر الفيزيائي	مسحوق	ـــــ
اللون	بني فاتح	ـــــ
الوزن النوعي	٢,٣٢	ـــــ
النعومة (نسبة المتبقي بعد النخل الرطب على منخل مقاس ٤٥ مايكرون	٢٣	٣٤ حد اعلى
الفعالية البوزولانية	٧ ايام – ٨١٪	٧٥ حد أدنى
	٢٨ يوم – ١٠٠٪	٧٥ حد أدنى

٢,١,٣ الرمل

تم استخدام رمل CEN القياسي على شكل عبوات موضوعة في اكياس زنة ١٣٥٠ غم والذي يطابق في توزيع المقاس الحبيبي والخواص الفيزيائية لمتطلبات الرمل الواردة في المواصفة القياسية الاوربية ١٩٦-١[٩]والدليل الاسترشادي المرجعي رقم ١٩٨/ ١ لسنة ٢٠٢١ [١٠] وكما مبين في الجدول رقم (٣).

جدول (٣): توزيع المقاس الحبيبي لرمل CEN القياسي

مقاس الفتحة للمنخل (مم)	المتبقي على المنخل (التراكمي)(%)
٢	٠
١,٦	٥±٧
١	٥±٣٣
٠,٥	٥±٦٧
٠,١٦	٥±٨٧
٠,٠٨	١±٩٩

٣-١-٣ السمنت

تم استخدام سمنت بورتلاندي عادي نوع كبيسة لتهيئة نماذج الفحص وتم اجراء الفحوص الفيزيائية والكيميائية له واجري الفحص حسب متطلبات المواصفة العراقية رقم (٥) لعام ٢٠١٩ الخاصة بالسمنت [١١] لتحديد مواصفاته ،ويبين الجدول رقم (٤) الخواص الفيزيائية والجدول رقم (٥) التحليل الكيميائي للسمنت المستخدم.

جدول (٤): الخواص الفيزيائية للسمنت

نوع الفحص	النتيجة	حدود المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤
النعومة سم^2/غم	٤٣٣٥	٢٨٠٠ كحد أدنى
وقت التماسك الابتدائي(دقيقة) النهائي(ساعة)	 ٧٥ ٣,٤٠	 ٤٥ كحد أدنى ١٠ كحد اعلى
مقاومة الانضغاط نت/مم^2 عمر ٢ ايام عمر ٢٨ ايام	 ٢٥ ٤٣,١٦	 ٢٠ كحد أدنى ٤٢,٥ كحد أدنى

جدول (٥): التحليل الكيميائي للسمنت

الاكاسيد	السمنت %
L.O.I	٤,٢٧
SiO_2	١٨,٦٠
Al_2O_3	٤,١٣
Fe_2O_3	٤,٨٩
SO_3	٢,٠١
CaO	٦٠,٠٠
MgO	٣,٠٠
Total	٩٦,٩٠

٣-١-٤ الماء

تم استخدام ماء الاسالة العادي لتهيئة الخلطات وذلك للحصول على ظروف انتاج مختبرية مشابهة للإنتاج المعملي وحسب متطلبات الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ١/١٩٨ لسنة٢٠٢١ [١٠].

٤- تهيئة النماذج

تم تهيئة (٦) خلطات تحتوي (٥) منها على مسحوق الميتاكاؤولين بنسب (٢٥,٢٠,١٥,١٠,٥)% كإبدال وزني من السمنت اضافة الى الخلطة المرجعية ، يتم خلط نسب المواد الاولية حسب ما جاء في الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ١/١٩٨ لسنة ٢٠٢١ والمواصفة الامريكية C٣٠٥ [١٢] وذلك بإضافة الماء الى خليط السمنت مع الميتاكاؤولين ويخلط بالخلاط الكهربائي لمدة ٣٠ ثانية (خلط بطئ) ثم يضاف الرمل القياسي الى الخليط ويخلط لمدة ٣٠ ثانية (خلط بطئ) تستمر بعدها عملية الخلط لمدة ٣٠ ثانية اضافية (خلط سريع) ثم تخلط لمدة ٩٠ ثانية (خلط يدوي) واخيرا تخلط خلط سريع لمدة ٦٠ ثانية بالخلاط الكهربائي

، تصب بعدها النماذج بقوالب (٤*٤*١٦) سم حيث يصب نصف كمية الخليط وترص بجهاز الرص ب ٦٠ ضربة ويتم اكمال صب النصف الباقي ويرص ب ٦٠ ضربة اخرى على جهاز الرص، تم تهيئة ٦ نماذج لكل خلطة ووضعت في غرفة الرطوبة لمدة ٢٤ ساعة ، تفتح بعدها القوالب وتغمر بالماء لمدة ٢٨ يوم ويكون الفحص عند اليوم(٢) واليوم (٢٨) بالنسبة لفحص مقاومة الانضغاط ، ويبين الجدول رقم (٦) مكونات ونسب الخلطات المهيئة. في حين يبين شكل رقم (٢) صور للنماذج المشكلة.

شكل رقم (٢): صور النماذج المشكلة

جدول (٦): مكونات ونسب الخلطات

رمز الخلطة	المكونات الاساسية		المضاف من الميتاكاؤولين (%)	الميتاكاؤولين (غم)	الماء (مليلتر)
	السمنت (غم)	الرمل القياسي (غم)			
A(المرجعية)	٤٥٠	١٣٥٠	٠	٠	٢٢٥
B	٤٢٧,٥	١٣٥٠	٥	٢٢,٥	٢٢٥
C	٤٠٥	١٣٥٠	١٠	٤٥	٢٢٥
D	٣٨٢,٥	١٣٥٠	١٥	٦٧,٥	٢٢٥
E	٣٦٠	١٣٥٠	٢٠	٩٠	٢٢٥
F	٣٣٧,٥	١٣٥٠	٢٥	١١٢,٥	٢٢٥

٥- الفحوص المختبرية ونتائجها

٥-١ فحص الكثافة

اجري فحص الكثافة الجافة لنماذج المونة بعمر ٢٨ يوم وبواقع ٣ نماذج لكل خلطة حيث تم تجفيف النماذج المغمورة في الماء في فرن تجفيف كهربائي بدرجة حرارة (١١٠ م°) لمدة ٢٤ ساعة لحين ثبوت الوزن ثم احتسبت الكثافة من القانون التالي:

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة (غم)}}{\text{الحجم(سم}^3\text{)}}$$

وحيث لا يوجد فحص للكثافة ضمن المواصفة العراقية تم الاعتماد على الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ٢٧٤[١٣] لسنة ١٩٩٢ الخاص بطرق تعيين الكثافة للخرسانة المتصلدة لإيجاد كثافة نماذج المونة المهيئة في البحث لمعرفة تأثير اضافة الميتاكاؤولين عليها لتأثيرها في بعض خواص المونة مثل الامتصاص والمقاومة، ويبين الجدول رقم(٧) ادناه نتائج الفحص للنماذج المشكلة.

جدول (٧): نتائج فحص الكثافة

رقم الخلطة	الكثافة غم/ سم^3
A	٢,٢٠
B	٢,١٦
C	٢,١٠
D	٢,٠٦
E	٢,٠٤
F	٢,٠١

٥-٢ فحص مقاومة الانضغاط

اجري فحص المقاومة بعمر (٢، ٢٨) يوم وبواقع ٦ نماذج لكل خلطة وحسب اسلوب الفحص المتبع ضمن المواصفة العراقية رقم (٥) لعام ٢٠١٩ باستخدام جهاز مقاومة الانضغاط وتمت مطابقة النتائج مع حدود المواصفة اعلاه ويبين الجدول رقم (٨) نتائج الفحص المختبري.

جدول (٨): نتائج فحص مقاومة الانضغاط

رمز الخلطة	مقاومة الانضغاط (٢) يوم نت/ملم^2	حدود المواصفة العراقية رقم (٥) لعام٢٠١٩	مقاومة الانضغاط (٢٨) يوم نت/ملم^2	حدود المواصفة العراقية رقم (٥) لعام٢٠١٩
A	٢٥	≤ ١٠	٤٢,١٢	≤ ٤٢
B	٢٥	≤ ١٠	٤٣,٦	≤ ٤٢
C	٢٧,٨٩	≤ ١٠	٤٦,٤٤	≤ ٤٢
D	٢٨,١	≤ ١٠	٤٨,٣١	≤ ٤٢
E	٢٨,٩	≤ ١٠	٥٢,١١	≤ ٤٢
F	١٧,٥	≤ ١٠	٣٨,٩٠	≤ ٤٢

٥-٣ فحص مقاومة الانحناء

اجري الفحص لنماذج المونة بواقع ٦ نماذج لكل خلطة وبعمر٢٨ يوم وتم الفحص باستخدام جهاز فحص مقاومة الانحناء وحسب الطريقة الواردة في الدليل الاسترشادي رقم ١/١٩٨

لسنة٢٠٢١، اجري الفحص لمعرفة تأثير اضافة الميتاكاؤولين على قوة الكسر للمونة والتي قد تتعرض لها اثناء الاستخدام، وتم احتساب مقاومة الانحناء من المعادلة التالية:

$$ح = \frac{١,٥ * ق\ ل}{ع^{٣}}$$

حيث ان:

ح: مقاومة الانحناء (ميكا باسكال)
ق: الحمل المسلط على منتصف الموشور عند الكسر بالـ (نيوتن)
ل: المسافة بين الدعامات (مم)
ع: طول ضلع المقطع المربع للموشور (مم)
ويبين الجدول رقم (٩) نتائج فحص مقاومة الانحناء لنماذج المونة

جدول (٩) نتائج فحص مقاومة الانحناء

رمز الخلطة	فحص مقاومة الانحناء N/mm^2 (عمر ٢٨ يوم)
A	١٠,٠٧
B	١٠,١٩
C	١٢,٨٩
D	١٤,١٤
E	١٥,١٠
F	٩,٩٦

٥-٤الامتصاص

اجري فحص الامتصاص للنماذج المشكلة وبواقع ٦ نماذج لكل خلطة حيث يؤثر امتصاص المونة على ديمومتها عند الاستخدام وتعرضها للماء او الرطوبة او المواد الكيميائية، ولذا اجري الفحص مختبريا للنماذج بطريقة الغمر بالماء لتحديد تأثير اضافة الميتاكاؤولين على هذه الخاصية، ويبين الجدول رقم (١٠) نتائج فحص الامتصاص للمونة

جدول (١٠): قيم الامتصاص للخلطات

رمز الخلطة	قيم الامتصاص %
A	٧,٠٦
B	٦,٥١
C	٥,٩٤
D	٥,٥٠
E	٤,٩٠
F	٤,١١

٥-٥ زمن التماسك

تم تحديد زمن التماسك الابتدائي وزمن التماسك النهائي للخلطات المحتوية على مضاف الميتاكاؤولين لتحديد تأثير المضاف عليه، اجري الفحص حسب متطلبات المواصفة العراقية رقم (٥) كما تم مقارنة النتائج مع حدود المواصفة اعلاه، ويبين الجدول رقم (١١) نتائج الفحص.

جدول (١١): فحص زمن التماسك

رمز الخلطة	زمن التماسك الابتدائي(دقيقة)	حدود المواصفة العراقية رقم (٥) للعام ٢٠١٩	زمن التماسك النهائي(ساعة)	حدود المواصفة العراقية رقم (٥) للعام ٢٠١٩
A	٩٠	≤ ٤٥	٣:٤٠	≥ ١٠
B	٨٤	≤ ٤٥	٣:٢٥	≥ ١٠
C	٧٩	≤ ٤٥	٣:٠٠	≥ ١٠
D	٧٠	≤ ٤٥	٢:٢٠	≥ ١٠
E	٦٥	≤ ٤٥	٢:١٠	≥ ١٠
F	٥١	≤ ٤٥	٢:٠٠	≥ ١٠

٥-٦ فحص التغير الطولي (ثبات الحجم)

تم اجراء الفحص على ثلاث نماذج لكل خلطة تحتوي على مضاف الميتاكاؤولين وتم مقارنة معدل قيم الفحص مع ثبات الحجم لنماذج الخلطة المرجعية وقورنت النتائج مع حدود المواصفة العراقية رقم (٥) ويبين الجدول رقم (١٢) ادناه نتائج الفحوص.

جدول (١٢): فحص ثبات الحجم

رقم الخلطة	ثبات الحجم (مم)	حدود المواصفة العراقية رقم (٥) طريقة لي شاتليه (مم)
A	٣	≥ ١٠
B	١,٨	≥ ١٠
C	١,٥	≥ ١٠
D	٠,٩	≥ ١٠
E	٠,٦	≥ ١٠
F	٠,٤	≥ ١٠

٥-٧ فحص الماسح الالكتروني SEM

تم اجراء فحص SEM لبعض النماذج المهيئة لمعرفة تفاصيل دقيقة لسطح العينة وبدقة تكبير تصل الى ١ نانوميتر اي ما يعادل ١ الى مليون من المليميتر وذلك يساعد على رؤية تفاصيل دقيقة لا ترى بالعين المجردة او المجهر الضوئي، ويعتمد مبدأ عمل المجهر الالكتروني على تسليط حزمة من الالكترونات على سطح العينة بأسلوب ممنهج وتقنية خاصة ومحددة ثم

تسجيل الاشارات المنبعثة والمنعكسة من كل نقطة من السطح وتجميعها وتسجيلها لتظهر بشكل صورة رقمية تبين تضاريس وتكوين السطح على شكل مناطق فاتحة وغامقة ، وقد تم اختيار نموذج للخلطة (E) المحتوية على ٢٠٪ من مسحوق الميتاكاؤولين لأنها اعطت افضل النتائج في الفحوص الفيزيائية اضافة الى الخلطة المرجعية (A) لغرض المقارنة معها لمعرفة تأثير اضافة الميتاكاؤولين ولتعزيز النتائج التي تم الحصول عليها من الفحوص الفيزيائية .

٦- المناقشة

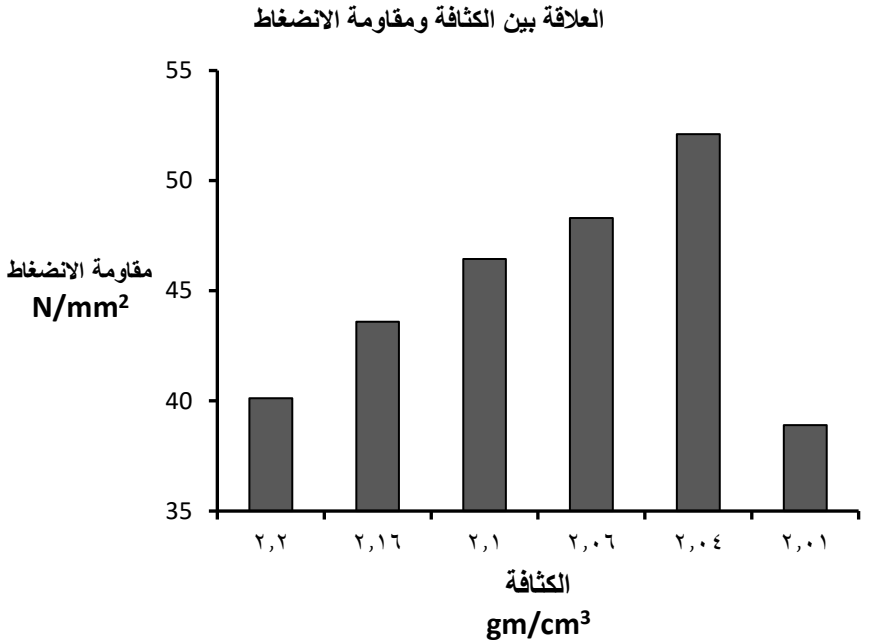
٦-١ الكثافة

يتضح من الجدول رقم (٧) اعلاه انخفاض قليل لقيم الكثافة للخلطات المحتوية على الميتاكاؤولين بالنسب (١,٨,٤,٤,٦,٣٦,٧,٢٧,٨,٦٣)% للخلطات (B,C,D,E,F) على التوالي مقارنة مع كثافة نموذج الخلطة المرجعية البالغة (٢,٢٠)غم/سم^{٣} ويعود ذلك الى وزن طبيعة المادة حيث ان الوزن النوعي لدقائق الميتاكاؤولين البالغة (٢,٣٢) اقل مقارنة مع الوزن النوعي لدقائق السمنت البالغة (٣,١٨)، وهذا يسبب انخفاض في كثافة النماذج المحتوية على الميتاكاؤولين بسبب ابدال السمنت الاعلى وزنا بالميتاكاؤولين الاقل وزنا، ويزداد الانخفاض بزيادة نسب الابدال ويظهر هذا التأثير للميتاكاؤولين في تقليل الكثافة بالرغم من نعومته البالغة (٧٥٣١)غم /سم^{٢} وهي اكثر من نعومة دقائق السمنت (٤٣٣٥)غم/سم^{٢} مما يساعد على مليء المسامات في هيكل نموذج المونة وبنفس الوقت يسبب انخفاضا بسيطا في قيم الكثافة للخلطات، ويتضح من الشكل رقم (٥) لصور الماسح الالكتروني SEM ان النماذج المحتوية على الميتاكاؤولين تقل نسبة المناطق الغامقة فيها والتي تمثل المسامات وخاصة في الصور الاكثر تكبيرا كما تظهر تجانس في تدرج وتوزيع اللون الرمادي مما يشير الى تجانس في توزيع الحبيبات الناعمة للميتاكاؤولين ضمن البنية الهيكلية للمادة.

٦-٢مقاومة الانضغاط

نلاحظ من نتائج الفحص المبينة في جدول رقم (٨) زيادة قليلة في مقاومة الانضغاط بعمر ٢٨ يوم لمعظم الخلطات المحتوية على الميتاكاؤولين مقارنة بمقاومة الخلطة المرجعية (A) والتي تبلغ (٤٢,١٢) نت/ملم^{٢} حيث تظهر النتائج زيادة بنسبة (٣,٥١٪ ، ١٠,٢٥٪، ١٤,٦٩٪ ، ٢٣,٧١٪) للخلطات (E,D,C,B) على التوالي ،وترجع الزيادة القليلة الى دقائق الميتاكاؤولين المحروقة والفاقدة للدونة والمتناهية في الصغر ذات النعومة العالية ٧٥٣١ غم/سم^{٢} والتي تم ابدالها مكان دقائق السمنت ذو النعومة الاقل ٤٣٣٥ غم/سم^{٢} مما ادى الى مليء المسامات في هيكل النماذج وبالتالي زيادة مقاومة الانضغاط ،وبنفس الوقت لم نلاحظ ارتفاع في المقاومة بشكل كبير وذلك لان السمنت بتفاعله مع الماء يؤدي ايضا الى تكون مادة ذات هيكل متماسك قوي عند التصلب يعطي المقاومة للمنتج ، لذا نلاحظ تقارب بين المقاومة الناتجة من اماهة السمنت والمقاومة الناتجة من مليء المسامات نتيجة ابدال الميتاكاؤولين مكان السمنت وبالتالي كان تحسين المقاومة بسيط للخلطات المحتوية على الميتاكاؤولين واعطت الخلطة (E) اعلى مقاومة بقيمة (٥٢,١١) نت/ملم^{٢}، في حين تبين النتائج انخفاض في المقاومة للخلطة المحتوية على ٢٥٪ من الميتاكاؤولين (الخلطة F) وذلك بسبب انخفاض نسبة السمنت بشكل كبير في الخلطة مما يقلل من الهيكل القوي للمونة الناتج من الاماهة للسمنت بالرغم من ارتفاع نسبة الميتاكاؤولين لهذه الخلطة، ونلاحظ من النتائج السابقة ان المقاومة تزداد لنماذج المونة بالرغم

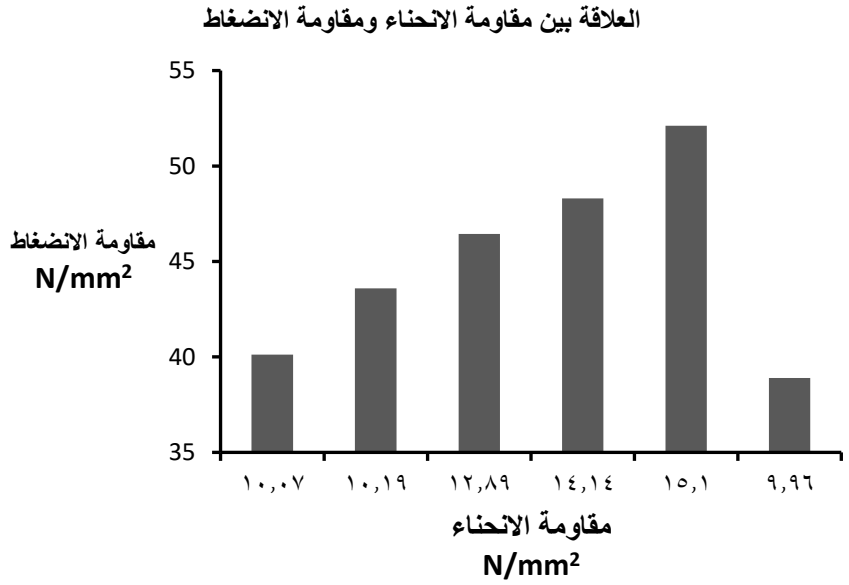
من انخفاض الكثافة لها كما يتضح من الشكل رقم (٣) والذي يوضح العلاقة بين قيم الكثافة ومقاومة الانضغاط للخلطات اذ تنخفض الكثافة مع زيادة المقاومة لمعظم الخلطات.



شكل (٣): العلاقة بين الكثافة ومقاومة الانضغاط

٣-٦ مقاومة الانحناء

نلاحظ من الجدول رقم (٩) ارتفاع في قيم مقاومة الانحناء بعمر (٢٨ يوم) للخلطات مع زيادة نسب الاضافة من مسحوق الميتاكاؤولين وبثبات نسبة الماء الى السمنت لجميع الخلطات، وهذا يرجع الى ان ابدال السمنت بالميتاكاؤولين يقلل من التشققات الحاصلة من تصلب السمنت عند الجفاف والتي تضعف من هيكل المونة الجافة ،كما ان اضافة الميتاكاؤولين يزيد من لزوجة المونة وتماسكها مما يساعد على احتفاظها بالماء لإكمال عملية اماهة السمنت ومنع التشققات وبالتالي زيادة في قيم مقاومة الانحناء ، يبين الجدول اعلاه زيادة بنسبة (٤٩,٩٥,٤٠,٤٠,٢٨,٠٠,١,١٩) للخلطات (E,D,C,B) على التوالي، في حين تنخفض مقاومة الانحناء مجددا للخلطة (F) بسبب انخفاض نسبة السمنت فيها ، وتظهر لنا نتائج الفحوص العلاقة الطردية بين قيم مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء للخلطات مع زيادة نسبة المضاف من الميتاكاؤولين لمعظم الخلطات كما يتضح من الشكل رقم (٤) ادناه :



شكل (٤): العلاقة بين مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء

٦-٤ الامتصاص

نلاحظ من نتائج الفحص المبينة في الجدول رقم (١٠) انخفاض واضح في قيم امتصاص الماء للمونة مع زيادة نسبة حبيبات الميتاكاؤولين الغير لدنة المضافة ويرجع ذلك الى ان حبيبات الميتاكاؤولين العالية النعومة ٧٥٣١ غم/سم^{٢} تعمل على سد مسامات المونة وتقليل نفاذيتها وبالتالي يقلل من امتصاص الماء وكما يظهر في صور الماسح الالكتروني، ونلاحظ ان الانخفاض يصل الى حوالي ٣٠٪ للخلطة المحتوية على ٢٠٪ من الميتاكاؤولين وهذا يحسن بشكل واضح من مقاومة المونة لامتصاص المواد الكيمياوية والاملاح والتي قد تتعرض لها عند الاستخدام وبالتالي زيادة ديمومتها.

٦-٥ زمن التماسك

تشير نتائج الفحص المبينة في جدول رقم (١١) انخفاض واضح لقيم زمن التماسك الابتدائي والنهائي لجميع الخلطات مع مطابقتها لمتطلبات المواصفة العراقية رقم (٥)، اذ ان وقت تصلب الخلطة الأسمنتية يعود الى اماهة السمنت وتفاعله مع الماء واكتسابه للصلابة بمرور الوقت لتكوين هيكل قوي، لذا فان تقليل نسبة المحتوى الإسمنتي للخلطات وابداله بحبيبات الميتاكاؤولين يؤدي الى تقليل زمن التماسك للخلطات ويزداد الانخفاض مع زيادة نسب الاضافة.

٦-٦ ثبات الحجم

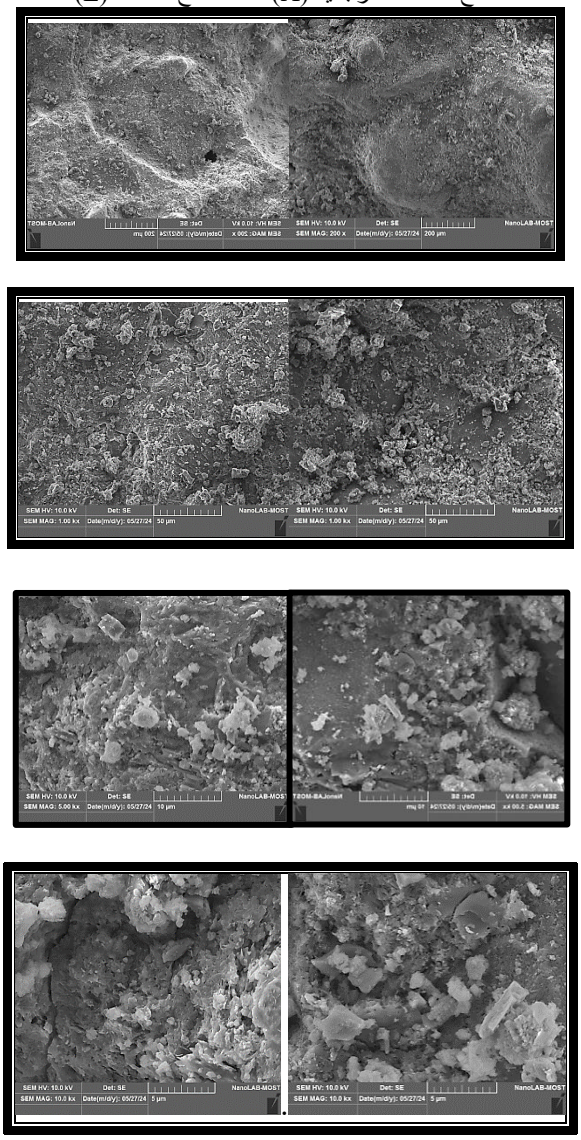
يعتبر فحص التغير الطولي (ثبات الحجم) للمواد الانشائية من الفحوص المهمة لتحديد اسلوب عملها وتأثيرها عند الاستخدام ويعتبر من المشاكل التي تحتاج الى معالجة وان اضافة مسحوق الميتاكاؤولين يؤثر على خاصية التمدد الطولي للمونة والناتجة من عملية التصلب والتمدد الحراري ، ويختلف تأثيره باختلاف نسبة الاضافة وباختلاف نوع السمنت البورتلاندي المستخدم ، وبشكل عام ان لإضافة الميتاكاؤولين تأثير ايجابي في تقليل التغير الطولي وثبات الحجم للمونة مع مرور الوقت وتغير درجات الحرارة اذا ما تم اضافته بنسب معينة واختيار النوع المناسب من المضاف بما يناسب مركبات السمنت ولا يؤدي الى تفاعلات غير مرغوبة بين الميتاكاؤولين كمضاف ومركبات السمنت، ويظهر لنا من نتائج الفحوص المثبتة في جدول رقم (١٢) حدوث انخفاض بسيط في التمدد الطولي للخلطات المحتوية على (٥،١٠،١٥)% من مضاف الميتاكاؤولين في حين يظهر انخفاض واضح في التمدد الطولي للخلطة المحتوية على ٢٥,٢٠٪ ميتاكاؤولين بمقدار (٠,٦ ,٠,٤) مم وهذا يعود الى ان اضافة المادة البوزولانية (الميتاكاؤولين) تقلل من تفاعل الركام مع القلويات الموجودة في السمنت [١٤] والمسببة لتمدد النموذج وقد كانت جميع النتائج مطابقة لمتطلبات المواصفة العراقية رقم (٥).

٦-٧ فحص المجهر الالكتروني

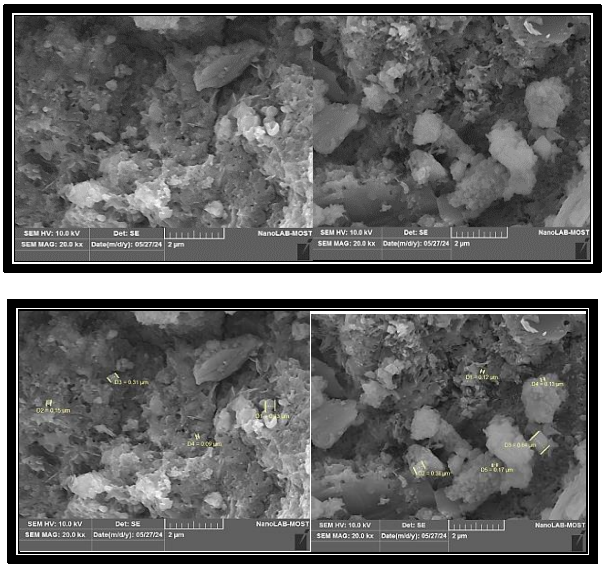
اجري الفحص لدراسة تضاريس ومكونات سطح النموذج حيث يعطينا تفاصيل أكثر دقة عن خشونة السطح وتوزيع دقائق المادة والمسامات والفجوات والبروزات فيها، يوضح الشكل رقم (٥) الصور الرقمية لسطح نماذج الخلطة المرجعية (A) والخلطة المحتوية على مضاف مسحوق الميتاكاؤولين بنسبة ٢٠٪ (E) تحت المجهر الالكتروني كونها الخلطة التي اعطت أفضل النتائج لجميع الفحوص، وتظهر الصور باللون الابيض والاسود والرمادي بتدرجاته. ان السطح المتجانس يظهر توزيع متجانس للالوان مع وجود للون الابيض والرمادي الفاتح مما يشير الى انخفاض الفجوات والانحناءات في حين ان التباين العالي والتفاوت في السطوع مع ظهور للون الاسود والرمادي بتدرجات عالية يشير الى تفاوت في توزيع المكونات ووجود نسبة أكبر من المسامات في الجسم.

يظهر من الصورة الاولى لكل من الخلطة المرجعية والمحتوية على المضاف ان الخلطة المرجعية تظهر باللون الاسود والرمادي بشكل عام مع القليل من اللون الابيض وهذا يشير الى عدم تجانس في توزيع المواد ووجود مسامات كبيرة تظهر باللون الغامق في حين تظهر صورة الخلطة (E) وجود مناطق بيضاء بشكل واضح تشير الى تجانس وقلة الفجوات في السطح ,تبين الصور الاخرى الاكثر تكبيرا توضيح اكثر حيث يظهر توزيع اوسع للون الرمادي مع اختلاف درجاته وهذا يدل على اختلاف توزيع المكونات ووجود مسامات كبيرة للخلطة المرجعية في حين ان تجانس اللون الرمادي يشير الى تجانس توزيع حبيبات الميتاكاؤولين ذات النعومة العالية داخل الهيكل المسامي للجسم مما يسبب انخفاض للمسامات كما يتضح من الصور كما ان ظهور اللون الابيض بشكل واضح في نماذج الخلطة (E) وخاصة في الصورة الاخيرة الاعلى تكبيرا تشير الى انعكاس للإلكترونات بعد اصطدامها بحبيبات السطح فيظهر توزيع متوازن للهيستجرام والمبين باللون الفاتح مما يشير الى تماسك البنية وقلة الشقوق فيها ويظهر هذا في انخفاض قيم التقلص الطولي للنماذج المحتوية على الميتاكاؤولين وخاصة عند نسبة الاضافة ٢٠٪ .

نماذج الخلطة المرجعية (A) نماذج الخلطة (E)



شكل (٥): صور فحص المجهر الالكتروني



شكل (٥): تابع

٧- الاستنتاجات

من نتائج الفحوص المختبرية لنماذج المونة المشكلة من اضافة نسب مختلفة من الميتاكاؤولين الى مونة السمنت والمعززة بصور الماسح الالكتروني نستنتج التالي:

١. اضافة مسحوق الميتاكاؤولين يرفع من قيم مقاومة الانضغاط بنسبة تصل الى حوالي ٢٣٪ للخلطة المحتوية على ٢٠٪ ميتاكاؤولين (الخلطة E) وبعمر ٢٨ يوم.
٢. نلاحظ انخفاض في قيم الكثافة مع زيادة نسبة الاضافة من الميتاكاؤولين بسبب كثافتها المنخفضة مقارنة مع كثافة السمنت
٣. وجد تحسن في قيم مقاومة الانحناء للخلطات مع زيادة الميتاكاؤولين واعطت الخلطة (E) اعلى قيمة بمقدار ١٥,١٠ نت/ملم^{٢}.
٤. وجد تحسن في قيم مقاومة الامتصاص حيث انخفض بنسبة ٣٠٪ للخلطة (E).
٥. نلاحظ ان زيادة نسبة الاضافة الى ٢٥٪ من الميتاكاؤولين ادت الى انخفاض في مقاومة الانضغاط ومقاومة الانحناء وهذا يعود الى انخفاض محتوى السمنت في المونة والذي يعطي القوة لها عند التصلب.
٦. كان لاضافة مسحوق الميتاكاؤولين تاثير في تقليل زمن التماسك الابتدائي والنهائي للخلطات كافة.
٧. كانت أفضل خلطة هي الخلطة (E) المحتوية على ٢٠٪ من الميتاكاؤولين حيث اعطت أفضل النتائج من حيث القوة والمقاومة والامتصاص مما يجعلها صالحة للاستخدام الخارجي في اعمال اللبخ والربط.
٨. يتضح من النتائج الفائدة العملية للبحث في تحسين خواص مونة البناء باضافة مواد محلية منخفضة الكلفة وباتباع طرق تصنيع سهلة.

٨- التوصيات

اظهرت نتائج الفحوص ان أفضل خلطة للمونة الاسمنتية هي بنسبة اضافة ٢٠٪ من مسحوق الميتاكاؤولين وان زيادة النسبة الى ٢٥٪ ادى الى فشل الخلطة في فحوص قوة الانضغاط ومقاومة الانحناء، لذا نوصي باستخدام مضافات اخرى مثل الالياف البولميرية او الزجاجية مع مسحوق الميتاكاؤولين للتحسين من قوة المونة عند زيادة نسب الاضافة من مسحوق الميتاكاؤولين الى نسب اعلى من ٢٠٪ للاستفادة من فوائد الاضافة له في تحسين بقية الخواص للمونة.

المصادر

[١] Mao, J., Wang, Q. (2022) 'Study of Mortar Layer Property of Super Hydrophobic Metacaolin Based Cement Mortar', Journal of Building Engineering, vol. 45.

[٢] Nasr, M., Hussain, T., Kubba, H., and Shubbar (2022) 'Influence of using High Volume Fraction of Silica Fume on Mechanical and Durability Properties of Cement Mortar', Journal of Engineering Science and Technology, 15(4), pp. 2494-2506.

[٣] Antoni, Luckychandra, and Hardjito (2015) 'The Impact of using Fly Ash, Silica Fume and Calcium Carbonate on the Workability and Compressive Strength of Mortar', Procedia Engineering, vol. 125, pp. 773-779.

[٤] Tawfik, T., Khaled, W., Metwally, A. (2019) 'Effect of Nano Silica and Metakaolin on Mechanical Properties of Cement Mortar' International Journal of Engineering Research and Technology, 8(3).

[٥] jin, Z., Ding, Z. (2003) 'Property Improvement of Portland Cement by Incorporating with Metacaolin and Slag', Cement and Concrete Research, 33(4), pp. 579-584, Doi.org/101016/S0008-8846(02)01025-6.

[٦] Goncalves, J., Tavares, L., Toledofilho, R., and Fairbaim, E. (2009) 'Performance Evaluation of Cement Mortars Modified with Metakaolin or Ground Brick', Construction and Building Materials, 23(5), pp. 1971-1979.

[٧] Siddique,R., Klaus, J. (2009) 'Influence of Metakaolin on the Properties of Mortar and Concrete', Applied Clay Science, 43(3), pp. 392-400.

[٨] ASTM C618 (2015) 'Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete'.

[٩] B.S EN-196-1 (2005) 'Methods of testing cement'.

[١٠] الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (٢٠٢١) " الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ١/١٩٨-٢٠٢١: الخواص الفيزيائية لسمنت بورتلاند - تعين مقاومة الانضغاط".

[١١] الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (٢٠١٩) " المواصفة القياسية العراقية رقم (٥): السمنت البورتلاندي".

[12] ASTM C305 (2014) 'Standard and Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency'.

[١٣] الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (١٩٩٢) " الدليل الاسترشادي المرجعي رقم ٢٧٤- ١٩٩٢: فحوص الخرسانة - طرق تعين كثافة الخرسانة المتصلدة".

[١٤] ASTM C311/C311M (2016) 'Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use in Portland – Cement Concrete'.

Building Research Journal
Volume 9 Number 1 2024

Effect of Adding Metakaolin on the Physical Properties of Cement Mortar

*[1]Zeyad momtaz mohammed, [2]Hind Hussein hamad , [1]Walla tariq redhah , [1]Thamer abdulaemma , [1]Waleed Khaled

[1]Building Materials Departement, Building Research Directorate, Baghdad, Iraq
[2].physical Education Departement, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

Abstract

Regular cement mortar is one of the widely used building materials. Therefore, research continues in the field of improving its performance and specifications to reduce the problems it faces when used. In this research, the effect of adding metakaolin powder in certain ratio on the physical properties of cement mortar was studied. All the raw materials used to prepare the mortar mixtures in this research were local materials. Ordinary Portland cement was used. Raw kaolin was brought from the Husseiniya area and burned at a temperature of (750) °C to obtain metakaolin powder. Standard CEN sand was also used. Six types of mixtures were prepared, including the reference mixture and five mixtures containing the metakaolin additive with weight addition ratios of (5, 10, 15, 20, 25) % as a partial replacement of the weight of cement. The mixing ratios were prepared according to the requirements of Reference Guide No. 198/1 of 2021. The prepared samples were tested in dimensions (4*4*16) cm to determine the best mixtures and the best ratio for adding of metakaolin powder by conducting physical tests, which include (compressive strength, density, bending resistance, absorption, setting time, electron microscope examination, liner shrinkage). From the results of the tests, it was concluded that the mixture containing 20% of the metakaolin powder additive, indicated by the symbol (E), was the best mixture, as the compressive strength was improved to reach (52.11) N/mm^2, with a density of (2.04) g/cm^3, and the flexural resistance was also improved. Reducing the initial and final setting time of the mixture and reducing the liner shrinkage of the mortar with compared to the results of testing the reference mixture mortar. The results of the laboratory tests were conformed to the limits of Iraqi Standard No. (5) of 2019.

Keyword: Cement Mortar, Metakaolin, Kaolin

*corresponding author: Zeyad momtaz mohammed
ziyad52005@yahoo.com