تقييم الأداء البوزولاني لطمي بعض سدود المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

* د.م. سوزان تفاحة

الملخص

ضمن سياق تطبيقات الاستدامة والتقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، وبهدف التشجيع على التخلص من الكميات الهائلة للطمي المتراكم بقاع الكثير من سدود المنطقة الساحلية والذي أصبح عائقاً حقيقياً أمام الوظيفة التخزينية للسد. تم القيام بهذه الدراسة لتقييم الأداء البوزولاني لطمي سد الأبرش وسد الصوراني بمحافظة طرطوس وسد بلوران بمحافظة اللاذقية، وذلك بهدف تحديد إمكانية استخدامه كمستبدل اسمنتي. أظهرت النتائج أن الأداء البوزولاني لطمي كل من سد الأبرش وسد الصوراني منخفض، أما بالنسبة لطمي سد بلوران فكان الأداء البوزولاني له ممتاز، حيث تم تجريب ثلاثة نظم ترميد لاختيار نظام الترميد الأمثل لهذا الطمي والذي أعطى أعلى معامل فعالية، ثم تم اختبار أثر استخدام ٢٠% من هذا الطمي كمستبدل اسمنتي على قابلية تشغيل الخلطة ومقاومتي الشد بالانعطاف والضغط بعمر ٧ و٢٨ و٥٦ و٩٠ يوم وأيضاً على امتصاص الخلطة ومقاومة الكبريتات. لم يظهر استخدام طمي سد بلوران المرمد كمستبدل اسمنتي أثر سلبي واضح على قوام الخلطة، ونقصت مقاومة الضغط بعمر ٧ و٢٨ يوم ولكنها تحسنت بعمر ٥٦ لتصبح بعمر ٩٠ يوم أعلى من العينة المرجعية، كما تحسنت مقاومة الكبريتات وقل الامتصاص.

كلمات مفتاحية: الميتاكاولن – طمي السدود المرمد – الاضافات البوزولانية كمستبدلات الاسمنتية.

* عضو هيئة تدريسية/ كلية الهندسة / قسم الهندسة المدنية/جامعة الوادي الدولية الخاصة

Evaluation of the Pozzolanic performance of the silt of some dams of the coastal region to determine their potential use in cement mixtures

Abstract

In the context of sustainability applications and reducing cement consumption by replacing it with green materials, and in order to encourage the disposal of the huge amounts of silt accumulated in many dams in the coastal region, which became a real obstacle to the storage function of the dam. This study was carried out to evaluate the pozzolanic performance of the silt in Al-Abrash Dam, Al-Sourani Dam in Tartous, and Baloran Dam in Latakia, with the aim of determining the possibility of its use as a supplementary cementing material. The results showed that the pozzolanic performance of silt in both the Al-Abrash and the Sourani was low, but the pozzolanic performance of the Bluran silt was excellent. Three calcination systems were tested to choose the optimal one, which gives the highest strength activity index. Then the effect of using 20% of this silt on the workability of the mixture and its compressive and flexure strength at the ages of 7, 28, 56 and 90 days was tested, as well as its impact on the absorption and sulfate resistance was investigated. The results demonstrated that the use of silt has limited effect on the workability, and the strengths decreased at the age of 7 and 28 days but improved at the age of 56 to become higher than the control sample at the age of 90 days, while the absorption and sulfate resistance have improved.

Key words: Metakaolin - Calcined Silt - Supplementary cement Material.

١- المقدمة والدراسة المرجعية:

أصبح من المعروف أهمية استخدام المواد البوزولانية بتصنيع الاسمنت البوزولاني أو كمستبدلات اسمنتية للتقليل من استهلاك الاسمنت بالخلطة، وبالتالي تقليل انبعاث الغازات الناتجة عن تصنيع الإسمنت وتصنيع خرسانة خضراء صديقة للبيئة.

تتلخص مزايا استخدام المواد البوزولانية بخلطات الاسمنت البورتلاندي بالآتي:

– مكسب اقتصادي بتوفير جزء من الاسمنت والذي أسعاره في تزايد مستمر واستبداله بمواد خضراء وأرخص ثمناً.

– فرصة لإعادة تدوير بعض المخلفات الطبيعية أو الصناعية أو مخلفات مواد الهدم.

–إعطاء خلطات بديمومة أعلى وبالتالي عمر أطول للمنتجات البيتونية، من خلال تقليل نفاذية الأملاح والمواد المخربة ومقاومة أعلى للكبريتات والأملاح والأيونات وتقليل التفاعل القلوي للحصويات Alkali Silica Reaction.

– تقليل درجة حرارة التميه ولهذا أهمية في المنشآت الكتلية الضخمة كالسدود وغيرها.

– تقليل الأثر البيئي عن طريق التقليل من انبعاث الغازات الناتجة عن تصنيع الاسمنت.

– تقليل حدوث ظاهرة النضح Bleeding والانفصال الحبيبي Segregation.

تتميز المواد البوزولانية بمحتوى عالي من أكاسيد الكاولنت $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ التي تعرضت للشي بدرجات حرارة مرتفعة إما بفعل الطبيعة كالبراكين التي حصلت بالماضي البعيد وشكلت البوزولانا الطبيعية المتواجدة في مناطق كثيرة من العالم، أو أثناء عمليات الصناعة كالبوزولانا الصناعية مثل: خبث الأفران Slag وهو مخلف من صناعة صهر الحديد بالأفران أو الرماد المتطاير Fly Ash الناتج عن احتراق الفحم الحجري بمحطات توليد الطاقة أو هباب السيليس Silica Fume وهو ناتج ثانوي من صناعة معدن السيليكون، هذا بالاضافة للطين المرمد Calcined Clay.

تعمل الحرارة العالية على تحطيم البنية البلورية لمنرالات الكاولينيت Crystallic structure المتواجد بوفرة بالمواد البوزولانية وتحولها لبنية غير متبلورة Amorphous وبهذه البنية فقط تستطيع أن يلعب الكاولنت دروراً بوزولانياً فعالاً باستهلاك كمية أكبر من $Ca(OH)_2$ الناتج من عملية إماهة الاسمنت وتشكيل روابط جديدة من gel (C-S-H & C-A-S-H) التي تتميز بطبيعة هلامية ممانعة لمرور الماء تسد المسامات وتملأ الفراغات وبالتالي تمنح البيتون مقاومة وديمومة أعلى مع الزمن (ACI 232.1 R, 2001) & (Rabehi, 2012) والمعادلة (١) توضح آلية التفاعل البوزولاني:

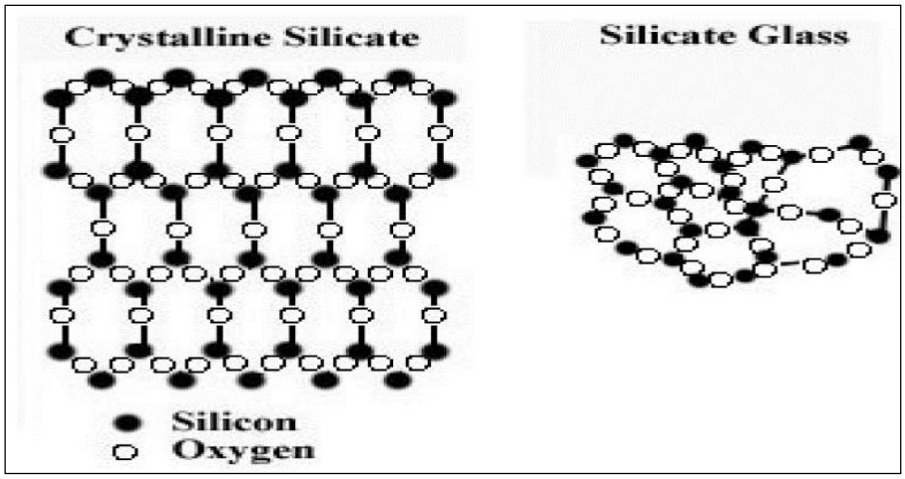
$$1.5Ca(OH)_2 + SiO_2 + 2.8H_2O \rightarrow \underset{\textbf{(C-S-H)}}{CaO_{1.5}SiO_2H_2O_{3.9}} \quad (1)$$

إن تعريض الكاولينيت لدرجات الحرارة يتنتج عنه الميتاكاولين $Al_2Si_2O_7$ Metakaolin والذي يسمى بالصلصال الصيني وهو أفضل أنواع المعادن الطينية وأشدها مقاومة للحرارة، والميتاكاولين ذو بنية معقدة عديمة التبلور (Amorphous) من السليكيا SiO_2 والألومينا Al_2O_3 ذات أداء بوزولاني فعال، فعند رفع الحرارة حتى ٤٥٠-٦٥٠ درجة تبدأ عملية الأكسلة (dehydroxilation) أي نزع مجموعات الهيدروكسيل OH^- ويتشكل الميتاكاولين غير المنتظم، وبرفع درجة الحرارة أكثر يستمر نزع مجموعات الهيدروكسيل OH^- حتى يتشكل الميتاكاولين (Rabehi, 2012) وفق المعادلة (٢) وبرفع درجة الحرارة أكثر يستمر نزع مجموعات الهيدروكسيل وعند بلوغ الحرارة ٨٥٠ – ٩٥٠ درجة عندها يتحول الميتاكاولين إلى اسبلين.

$$\underset{\text{كاولينت}}{Al_2Si_2O_5(OH)_4} \rightarrow \underset{\text{ميتاكاولين}}{Al_2Si_2O_7} + 2H_2O \quad (2)$$

تتوقف فعالية الأداء البوزولاني للميتاكاولين على جودة الطين المستخدم ونقاوته ومحتواه من السيليس والألومينا غير المتبلورة، فبشكل عام معظم أنواع الغضار تحوي كميات عالية من السيليكا والألومينا بالإضافة إلى أكاسيد أخرى، ولكن معظمها يكون بشكل بلوري (كرستالي) (Crystallic structure) وبهذه البنية البلورية سيكون التفاعل مع البورتلانديت $Ca(OH)_2$ والقلويات أبطأ وأضعف من البنية غير المتبلورة، وبالتالي لن تؤدي هذه الأكاسيد عملاً بوزولانياً فعالاً باستهلاك البورتلانديت.

حيث يؤكد (Keppert, 2014) أنه إذا أعطى التحليل الكيميائي للطين محتوى عالياً من أكاسيد السيليس والألومينا فهذا لا يعطي مدلولاً عن أداء بوزولاني مرتفع، لأن هناك جزءاً كبيراً من أكاسيد الكاولينيت لاتزال كرستالية متبلورة ليس لها أداء بوزولاني بل على العكس ستلعب دوراً سلبياً وتكون كأنها فلر Filler وتنقص المقاومات، وبالتالي لا يعتبر أي نوع من الطين أو الغضار مهما كان محتواه كبيراً من أكاسيد السيكا والألومينا أنه مادة بوزولانية مالم يتم ترميده سواء بفعل البراكين كما في حال البوزولانا الطبيعية، أو صناعياً بتعريضها للترميد بحرارة عالية وذلك لتحطيم البنية الكرستالية للسيليكا وتحويلها إلى سيلكا غير متبلورة (Active Silica) ذات أداء بوزولاني فعال، لاحظ الشكل(١):



الشكل (١) الفرق بين شكل السيليكا المتبلورة والسيلكا غير المتبلورة

وفي هذا السياق لابد من تحديد نظام الترميد الأمثل والأقدر على تحطيم البنية البلورية للمينيرالات الموجودة بالطين وإعطاء أعلى قدر من السيليكا التفاعلية (Active Silica) غير المتبلورة، ولكن بالمقابل لا يشوهها أو يحطمها بالحرارة الزائدة ويجعلها غير قادرة على التفاعل، حيث تتفاوت درجة الحرارة والمدة التي يبدأ عندها الميتاكاولين بالتشكل، فبعض أنواع الطين يبدأ بالتشكل بحدود ٦٥٠ درجة وبعضها الآخر يحتاج درجات أعلى، وهنا يؤكد (Fernandez, 2009) أنه عند الترميد الزائد بدرجة حرارة ٩٢٥ قلت المقاومات بشكل واضح مقارنة بدرجة حرارة ترميد ٦٠٠ و٨٠٠.

إن تحديد نظام الترميد الأنسب من حيث درجة الحرارة المناسبة والمدة اللازمة أمر يتوقف على طبيعة الطين المستخدم وتركيبته الكيميائية والمينرالية، وفي هذا السياق قام العديد من الباحثين بتجريب عدة أنظمة ترميد لاختيار الأمثل بينها والذي يعطي أعلى دليل فعالية (strength activity index) أي أكبر قدر من السيليكا الفعالة غير البلورية، فللحصول على الميتاكاولين جرب (Antoni, 2013) ترميد طين من أندونيسيا بدرجات حرارة ٧٠٠ و٨٠٠ و٩٠٠ درجة مئوية لمدة ٥ ساعات فأعطى الترميد بحرارة ٨٠٠ أعلى دليل فعالية، أما(Rabehi, 2012) فجرب الترميد بدرجات ٦٥٠ و٧٠٠ و٧٥٠ و٨٠٠ مدة ٥ ساعات لطين من منطقة دجبل بالجزائر، فكان الترميد بدرجة ٧٥٠ مدة ٥ ساعات الأمثل حيث أعطى أعلى دليل فعالية، وحيث احتاج (Lara, 2011) للترميد بحرارة ٩٠٠ لمدة ساعة للحصول على الميتاكاولين من طين كوبي، أما (Rafiza, 2012) احتاج لحرارة ٨٠٠ مدة ساعتين لطين من أندونيسيا، وكذلك (Aboubakar, 2014) احتاج لحرارة ٨٠٠ مدة ساعتين لطين من ليبيا للحصول على الميتاكاولين.

وتعتبر الدراسة التي أجراها (Alaa , 2013) من الدراسات الأهم بهذا المجال حيث أجرى دراسة مستفيضة لاختيار نظام الترميد الأنسب بعد مراجعة لأكثر من ٢٥٠ بحث حول التصنيع الأمثل للميتاكاولين باستخدام أنواع كثيرة من الطين لها تراكيب منرالية وكيمائية متعددة، وتوصل الباحث أن الترميد بحرارة بين ٦٠٠-٨٥٠ درجة لمدة تتراوح من ١-١٢ ساعة هو الأمثل للحصول على ميتاكاولين بخصائص بوزولانية عالية مهما كان نوع الطين المستخدم ومهما كان محتواه من السيليس والألومينا، كما توصل إلى أن الترميد مدة ١٢ ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة ٧٠٠ درجة مثلاً، والترميد لمدة ٢ ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة ٨٠٠ درجة.

ويظهر التحليل المينرالي باستخدام تقنيات XRD (X-Ray Diffraction) بجميع الدراسات المذكورة أن نسبة العناصر الكرستالية (الكوارتز) Quartez تقل كثيراً بالترميد. حيث يذكر (Antoni , 2013) و (Rabehi , 2012) أن ذرى الكوارتز تتناقص شدتها (Intensity) بزيادة الترميد وتكون أقل ما يمكن عند درجة الترميد المثلى التي أعطت أعلى دليل فعالية، بمعنى أن الحالة الأقل كرستالية هي التي أعطت أعلى دليل فعالية.

أعطى استخدام الميتاكاولين كمادة بوزولانية مزايا جيدة في مجال صناعة البيتون، وتوجد بالأسواق العالمية أنواع عدة من الميتاكاولين مصنعة ومعبأة بأكياس ومحضرة من أنواع مختلفة من الأطيان بهدف تحسين ديمومة الخلطات الإسمنتية، فعند (Dinikar, 2013) قلل استخدام الميتاكاولين الامتصاص ونفاذية الماء والكلوريدات وحسن المقاومات بشكل أفضل من هباب السيلس وبكلفة أقل منه، وكذلك عند (Borges, 2016) قلل استخدام الميتاكاولين المسامية والامتصاص وزادت مقاومة الأوساط القلوية، وعند (Rabehi, 2012) قلل استخدام الميتاكاولين نفاذية الكلوريدات وقلل تآكل العينات عند غمرها بحمض الكبريت كما قل الامتصاص والنفاذية بجميع الأعمار، وعندما قامت (Lara, 2011) بدراسة أثر نوعين من الميتاكاولين وقارنت النتائج بالفلر الكلسي، فوجدت أن المقاومات تحسنت بعد عمر ٢٨ يوماً كما قل الامتصاص والمسامية مع الوقت، كما لاحظت أن

الميتاكاولين حسن الإماهة بجميع مراحلها حيث أنقص من كمية الاترينيغايت المتشكلة وعزز تثبيت مخرجات الإماهة من نوع C−S-H و C-A-S-H ولم يعط استخدام الفلر كمستبدل اسمنتي نتائج جيدة بسبب قلة كمية السيليكا والألومينا فيه والتي تعتبر العناصر الأساسية للتفاعل البوزولاني.

كذلك تؤكد الكثير من الدراسات على أن الطمي المتراكم بقاع السدود يحتوي على نسب عالية من منرالات الكاولينيت وبالتالي يمكن تصنيع ميتاكاولن منه (Rabehi, 2014). بحيث يمكن استخدامه كمستبدل اسمنتي، فقد أعطى نتائج أفضل من نتائج استخدام خبث الأفران عند (Safi, 2011) وأفضل من البوزولانا الطبيعية عند استخدامه مع البيتون ذاتي الارتصاص عند (Belas, 2014) كما وقلل استخدام طمي السدود المرمد Calcined Silt الامتصاص وحسن المقاومات عند (Safi, 2012)، وكذلك عند (Rabehi, 2014) حسن استخدام الطمي المرمد من سد شورفا بالجزائر مقاومة الأحماض والكبريتات وقلل نفاذية الكلوريدات وبشكل أفضل من هباب السليس لذلك أوصى باستخدامه لتصنيع اسمنت بوزولاني، وقلل الطمي المرمد التفاعل القلوي للحصويات والتشققات الناجمة عنه عند (Ansah, 2014)، وأوصى (Khan, 2013) بإمكانية استخدام الطمي المرمد من سد تاربيلا بالباكستان في تصنيع اسمنت بوزولاني حيث لم يلحظ أثر سلبي واضح على المقاومات أو زمن الشك كما قلل من استهلاك الطاقة اللازمة للتصنيع، كما وحسن الطمي المرمد من سد فيرجوج بالجزائر المقاومات عند (Safi, 2013)، كما أكد (Laoufi, 2016) الخصائص البوزولانية العالية لطمي هذا السد وبالتالي إمكانية استخدامه بتصنيع اسمنت بوزولاني أقل كلفة وصديقة للبيئة، ويذكر (Malu, 2013) أن للطمي المرمد خصائص جيدة تجعله صالح للاستخدام بصناعة القرميد والسيراميك.

عموماً استخدام المخلفات البوزولانية كمستبدلات للإسمنت يحسن خصائص الديمومة ولكن يقلل المقاومات بأعمار مبكرة وخاصة مقاومة الضغط، وبالتالي إن تحديد النسب المثلى

للاستبدال من الاسمنت بأي إضافة Addition أمر بغاية الأهمية هذه النسبة التي تضمن تحقق متطلبات الديمومة وتبقى فيها المقاومة ضمن الحدود المقبولة. تتعلق نسبة الاستبدال من أي إضافة بطبيعتها وتركيبتها الكيميائية والمينرالية، لذلك وحسب ما تم استنتاجه من الدراسة المرجعية يمكن اعتبار أن استبدال من الاسمنت لحدود ٢٠% أو ٢٥% كحد أقصى بالطمي مقبول فهو يحسن خصائص الديمومة وأثره طفيف على المقاومات، فعندما درس (Tydlitat , 2012) أثر الاستبدال على مراحل الإماهة وجد أن الاستبدال بنسب أعلى من ذلك لن تؤدي الاضافة المستخدمة دوراً بوزولانياً فعالاً وستكون وكأنها فلر Filler وبالتالي ستقل المقاومات أكثر بسبب النقص غير المبرر بكمية C_3S الناجم عن حذف نسبة من الاسمنت.

وانطلاقاً مما سبق وجدنا أنه يمكن الاستفادة من الأطنان الهائلة للطمي المتراكمة في قاع الكثير من سدودنا المحلية والتي أصبحت عائقاً أمام الوظيفة التخزينة للسد نتيجة الترسبات الطبيعية للماء وانجراف التربة من التلال المحيطة به وتصنيع ميتاكاولن محلي وبكلفة أقل من المستورد ومن مواد بوزولانية صناعية أخرى. كما أن استخدام الطمي المرمد كمستبدل اسمنتي يخلق فرصة لاستثمار وتدوير هذه المخلفات ويساهم بالتقليل من استهلاك الاسمنت الذي أسعاره بتزايد مستمر هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن التقليل من استخدام الاسمنت يعني التقليل من التلوث الناجم عن تصنيعه، حيث تتربع صناعة الاسمنت بالمراتب الأولى بين الصناعات المسببة للتلوث حول العالم، حيث يسبب انتاج طن اسمنت انبعاث طن من غاز CO_2 أي ما يزيد عن ٢ بليون طن سنوياً وهذا يعادل ٧% من إجمالي انبعاث الكربون بالعالم (Meyer, 2009) & (Malhotra, 2000) كما ويؤكد (Terreza, 2017) أن استبدال حتى ٢٥% من الاسمنت ممكن أن ينقص كمية CO_2 بمقدار 10^8 *3.8طن بالسنة.

٢- أهداف البحث:

١- تقييم الأداء البوزولاني لطمي بعض سدود المنطقة الساحلية بهدف تصنيع ميتاكاولين محلي وبكلفة أقل من المستورد ومن مواد بوزولانية صناعية كهباب السيليس وغيرها وتحديد أثر استخدامه مع خلطات الملاط والبيتون.
٢- توضيح أثر نظم الترميد المعتمدة على جودة الميتاكاولين المصنع.
٣- التوظيف المجدي لهذه المخلفات والتشجيع على التخلص منها خوفاً من أن تتحول هذه البحيرات لوعاء طيني وتضعف الوظيفة التخزينة للسد.
٤- توسيع نطاق البحث في مجال تطبيقات الاستدامة والتي تعتبر مواضيع الساعة، وذلك من خلال العمل على تدوير المخلفات والتقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، هذا بالاضافة لأهمية التقليل من استهلاك الاسمنت من ناحية اقتصادية.

٣- مواد وطرق البحث:

٣-١ توصيف مواد البحث:

الاسمنت (PC): الاسمنت المستخدم بورتلاندي نوع I تصنيع معمل اسمنت طرطوس صنف 32.5 محقق للمواصفة القياسية السورية (١٩٨٥/٣٣٢).

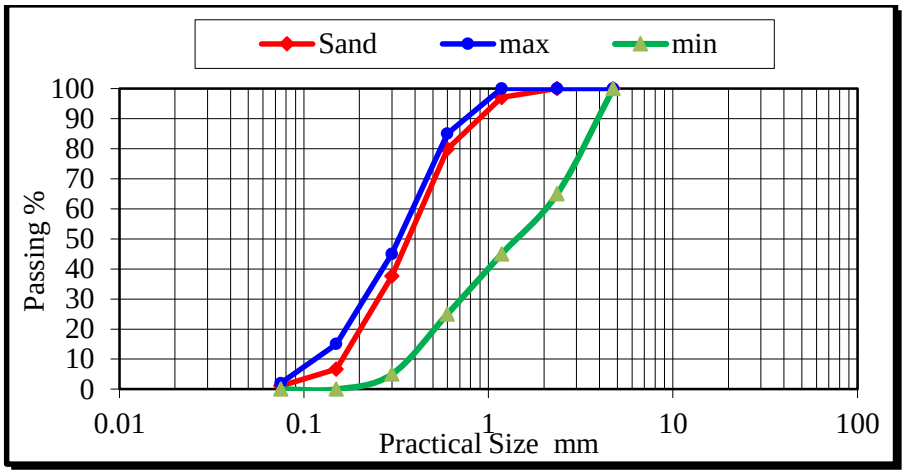
الرمل: تم استخدام رمل طبيعي سيليسي Silica Sand ناعم أبيض اللون من منطقة القريتين بسورية له التدرج الحبي بالشكل (٢) والمنحني يقع ضمن حدود حزمة المواصفة البريطانية BS 882 الموضحة بالمنحنيين (Max & Min).

ولاختبار محتواه من الشوائب تم تحديد القيم التالية:

- المكافئ الرملي = ٨٠,٣٢ % > ٧٥% OK
- المار من منخل ١٥٠ميكرون ٦,٧% < ١٠% OK

وبالتالي الرمل نظيف لا يحتاج غسيل.

الرمل النظامي المخبري: لزوم اختبار الفعالية



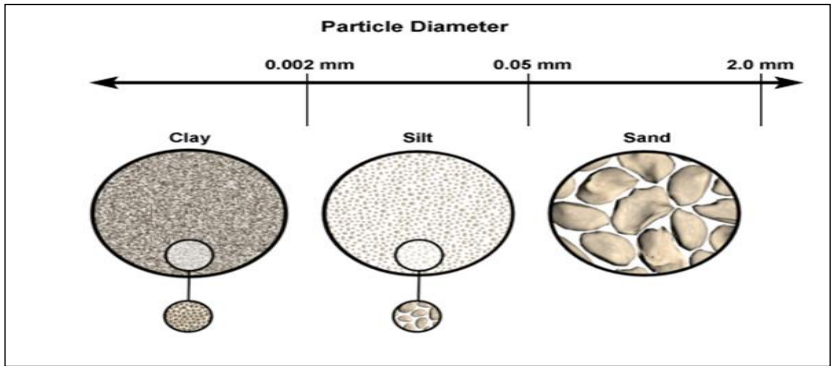
الشكل (٢) التحليل الحبي للرمل المستخدم ضمن حدود حزمة المواصفة BS 882

- الطمي المرمد (Calcined Silt (CS:

تم أخذ كمية من الطمي من عدة مناطق متفرقة مغمورة بالاستعانة بغواص من كل من سد الأبرش وسد الصوراني بمحافظة طرطوس وسدوبلوران بمحافظة اللاذقية.

يبين الشكل(٣) الفرق بين أقطار حبيبات الطين والطمي، وهنا نجد أن كلاً من الطين والطمي عندما يراد استخدامهم كمستبدلات اسمنتية يحتاج لطحن للحصول منه على مطحون بنعومة قريبة من نعومة الاسمنت ويفضل أن تزيد عنها قليلاً، فالنعومة شرط لأداء بوزلاني فعال كما توضح اشتراطات ASTM C 618 Type N الموضحة بالجدول (١) وهي المواصفة المعتمدة لتحديد صلاحية الإضافات من مصادر طبيعية (بوزولانا طبيعية، طين مرمد...) لاستخدامها كمستبدلات اسمنتية، ولا يعتبر أي نوع من الأطيان مادة بوزولانية صالحة للاستخدام كمستبدل اسمنتي مالم يحقق هذه اشتراطات.

لذلك وبعد تنظيف الطمي من الأعشاب والأجسام الكبيرة العالقة تم تجفيفه ٢٤ ساعة بدرجة 105 °C ثم تم طحنه بمطحنة تحتوي كرات متعددة الحجوم وزنها الاجمالي ١٢٦٣٥غ للحصول على مطحون الطمي بنعومة سطح بلين بحدود = ٤٢٠٠ سم^{٢}/غ



الشكل (٣) الفرق بين الرمل والطين والطمي من حيث حجم الحبيبات

الجدول (١) اشتراطات ASTM C618 Type N لتحديد صلاحية استخدام الإضافات من مصادر طبيعية كمستبدلات اسمنتية

(%) محتوى الأكاسيد $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	70 min
(%) محتوى الكبريتات SO_3	4 max
(%) الفاقد بالحرق L.O.I	10 max
(%) النعومة بقياس المتبقي على المنخل 45µ	34 max
(%) معامل الفعالية عند ٢٨ يوم	75 min

ولتحديد أي من أنواع الطمي المدروسة يصلح لتصنيع ميتاكاولن ذو أداء بوزولاني جيد، يجب حساب محتوى أكاسيد الكاولينيت وهو الشرط الأول من اشتراطات ASTM C618 Type N ولزوم ذلك تم إجراء تحليل كيميائي بالأشعة السينية (X-ray XRF Fluorescence) بمخابر معمل اسمنت طرطوس، والنتائج موضحة بالجدول(٢):

الجدول(٢) التحليل الكيميائي لأنواع الطمي المجربة باستخدامX-ray Fluorescence

%	طمي سد الصوراني	طمي سد الأبرش	طمي سد بلوران
SiO_2	٣٢,٢٥	36.73	58.42
Al_2O_3	٥,٤٣	6.63	17.8
Fe_2O_3	٧,١٢	6.18	9.45
CaO	٤٢,٢٦	38.13	9.7
MgO	٢,١٢	1.61	0.55
SO_3	٣,١٥	٢.32	0.15
L.O.I	١,٦	١,٢	0.98

يتضح من الجدول السابق أن:

محتوى الأكاسيد بطمي سد الأبرش (36.73 + 6.63 + 6.18 = 49.54% < 70%) وبسد الصوراني (32.25 + 5.43 + 7.12 = 44.8% < 70%) لا يحققا الشرط الأول من اشتراطات ASTM C 618 Type أي أن محتوى الكاولينيت فيهما منخفض وبالتالي لا جدوى من إجراء ترميد لهما وهذا يعود لطبيعة المنطقة المحيطة بالسد ونوع

الترسبات الطبيعية التي تنتج ببحيرة السد، أما محتوى الأكاسيد بطمي سد بلوران 58.42) (70% < 85.67% = 9.45 + 17.8 + فهو يحقق الشرط الأول من اشتراطات ASTM C 618 Type أي كمية الكاولينيت فيه جيدة وكافية لتصنيع ميتاكاولن، لذلك سنعتمد طمي سد بلورن بهذه الدراسة لتصنيع ميتاكاولن منه وفق الاجراءات التي اعتمدتها الدراسات المرجعية بهذا المجال.

ونظراً لعدم توافر معلومات مسبقة عن الترميد الأنسب لطمي سد بلوران قمنا بتجريب ثلاث نظم ترميد تم اعتمادها بشكل كبير بالدراسات المرجعية لأطيان لها تركيب مشابه لطمي سد بلوران، حيث كان تزايد الحرارة يتم بمعدل 5°C في الدقيقة لتجنب الصدمة الحرارية:

الأول(SC1): الترميد بدرجة ٧٠٠ مدة ١٢ ساعة (Alaa, 2013) .

الثاني(SC2): الترميد بدرجة ٧٥٠ مدة ٥ ساعات (Safi, 2011, 2012, 2013) & (Rabehi, 2014).

والثالث(SC3): الترميد بدرجة ٨٠٠ مدة ساعتين مثل (Aboubakar, 2014) (Rafiza, 2012) &.

يعرف معامل الفعالية strength activity index حسب اشتراطات ASTM C 618 Type N المبينة بالجدول(١) بأنه: نسبة القيمة الوسطية لـ (٦ عينات) لمقاومة الضغط بعمر ٢٨ يوم للعينة المعدلة ٢٠% بالإضافة البوزولانية على القيمة الوسطية لـ (٦ عينات) لمقاومة الضغط للعينة المرجعية التي لا تحتوي إضافات وذلك باستخدام الرمل النظامي المخبري وحسب التركيب التالي:

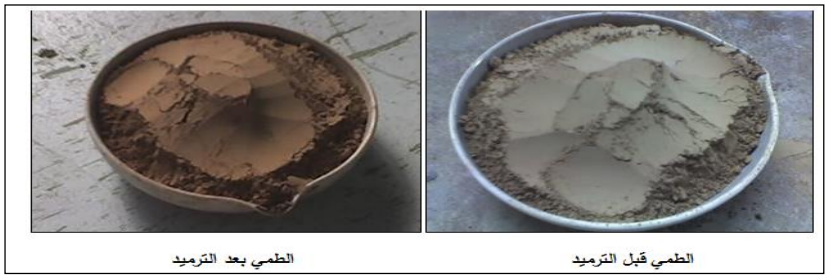
العينة المرجعية: ٥٠٠غ اسمنت + ١٣٧٥غ رمل نظامي مخبري + ٢٤٢ م.لتر ماء.

العينة المعدلة بالطمي: ٤٠٠غ اسمنت +١٠٠غ طمي + ١٣٧٥غ رمل نظامي مخبري + ٢٤٢ م.لتر ماء.

وكانت قيم معامل الفعالية من أجل نظم الترميد الثلاثة كالتالي:

(SC1=101% - SC2= 92% - SC3=94%)

من الواضح أن النظام الأول SC1 هو الأمثل لطمي سد بلوران، لأنه أعطى أكبر معامل فعالية وبالتالي أكبر قدر من السيليكا التفاعلية لذلك اعتمدناه بهذه الدراسة.



الشكل (٤) شكل الطمي قبل الترميد وبعده

الجدول (٣) التحقق من التوافق مع ASTM C618 Type N

الاشتراطات	SC١	ASTM C618	
محتوى الأكاسيد $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ (%)	٨٥,٦٧	70 min	OK
محتوى الكبريتات SO_3 (%)	0.١5	4 max	OK
الفاقد بالحرق L.O.I (%)	١,٣٨	10 max	OK

(%) النعومة بقياس المتبقي على المنخل 45µ	٣٠	34 max	OK
(%) معامل الفعالية عند ٢٨ يوم	١٠١	75 min	OK

من الجدول (٣) نجد أن طمي سد بلوران يحقق متطلبات ASTM C 618 أي يمكن استخدامه كمستبدل اسمنتي، وبعد ذلك سندرس تأثير استخدام ٢٠% منه وهي النسبة التي أوصت الدراسات المرجعية بعدم تجاوزها ومن ثم سنتحقق من أثره على الخصائص الريولوجية والميكانيكية لخلطة مونة اسمنتية مصنعة بحصويات محلية واسمنت وطني وعلى خصائص الديمومة من خلال تحديد تأثيرها على مقاومة الكبريتات والامتصاص.

٥- **النتائج والمناقشة:**

٤-١ دراسة تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على قابلية تشغيل الخلطة:

لدراسة تأثير استخدام الطمي المرمد على الخصائص الريولوجية للمونة الاسمنتية تم تجهيز خلطات بنسب Cement/Sand = 1/3 & Water/Cement = 1/2 خلطة مرجعية Control وخلطة باستبدال ٢٠% من الاسمنت بالطمي المرمد SC1. تم قياس قوام الخلطات باعتماد EN 1170-1 بتحديد قطر الانتشار لاسطوانة قطرها الداخلي ٥٧ مم والخارجي ٦٥ مم وبارتفاع ٥٥مم الموضحة بالشكل (٥) والنتائج مبينة بالجدول (٤).

الشكل (٥) اختبار القوام حسب EN 1170-1

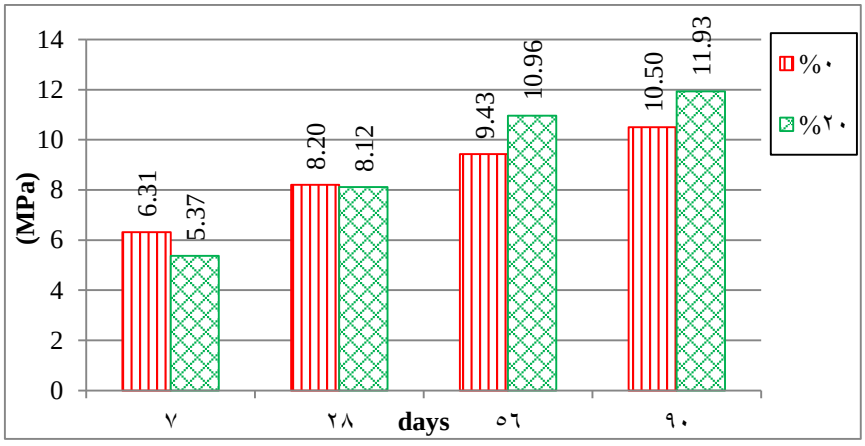
من بالجدول (٤) يمكن أن نلاحظ أن استخدام الطمي أنقص قطر الانتشار أي قلل قليلاً قابلية تشغيل الخلطة، وهذا متوقع بسبب مساميته ومساحة سطحه الكبيرة مما يجعله يستهلك كمية أكبر من ماء الخلط، وهذا ينسجم مع نتائج كل من (Laoufi, 2016) و (Safi, 2013) ولكن مقدار النقص الحاصل بسيط حيث بقي ضمن حدود ASTM C 618 Type N التي تشترط أن لا يتجاوز تأثير الاضافة البوزولانية المستخدمة على قطر الانتشار ٥± مقارنة بالعينة مرجعية وهذا محقق كما هو مبين بالجدول.

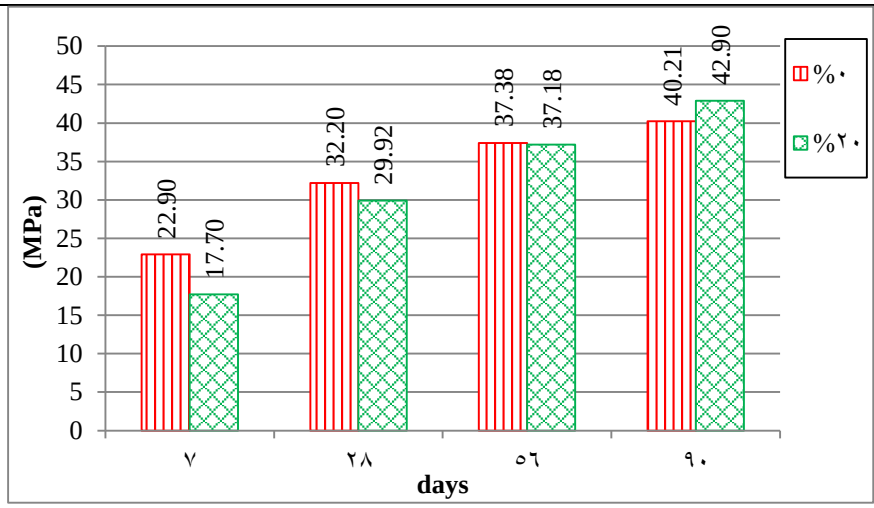
الجدول (٤) قيم قطر الانتشار

CS %	0%	%٢٠
Flow (mm)	١٦٨	159
Flow CON ± 5%= (176.4 – 159.6)mm	-	OK

٤-٢ دراسة تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على مقاومة الضغط بأعمار مختلفة:

لتحديد أثر الطمي على المقاومات تم صب مواشير (٤*٤*١٦) مم بنسب Cement/Sand = 1/3 & Water/Cement = 1/2 لعينات مرجعية وأخرى معدلة باستبدال ٢٠% من وزن الاسمنت بالطمي المرمد وذلك لكسرها حسب EN 196-1 ومراقبة تطور المقاومات على مدى ٩٠ يوم لتحديد أثر الطمي عليها بحسب مراحل الاماهة المختلفة. القيم الوسطية لمقاومة الانحناء والناتجة عن كسر ٣ مواشير مبينة بالشكل (٧)





والقيم الوسطية لمقاومة الضغط والناتجة عن كسر المكعبات الستة الناتجة مبينة بالشكل(٨) من أجل أعمار ٧ و٢٨ و٥٦ و٩٠ يوم.

الشكل (٦) العينات المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠% لاختبارها حسبEN 196-1

الشكل (٧) قيم مقاومة الانحناء بأعمار مختلفة للعينة المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠%

الشكل (٨) قيم مقاومة الضغط بأعمار مختلفة للعينة المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠%

نلاحظ أن استخدام الطمي أنقص المقاومات وخاصة مقاومة الضغط أكثر من الشد بالانعطاف بعمر ٧ و ٢٨ يوم وتحسنت المقاومات بعمر ٥٦ لتصبح بعمر ٩٠ يوم أعلى من العينة المرجعية، ويفسر ذلك بأن إماهة الطمي أبطأ من إماهة الكلنكر بسبب طبيعته المنرالية التي تجعله أبطأ من الكلنكر بتفاعلات الإماهة، فالفعل البوزولاني بأعمار مبكرة لايزال غير فعال كفاية لتعويض النقص الحاصل بروابط C-S-H الناجم عن حذف كمية من C_3S وهذا المسؤول بشكل أساسي عن إنقاص المقاومات بأعمار مبكرة، حيث يؤكد (Demir , 2011) و (Ezziane , 2010) أن روابط C-A-S-H & C-S-H المتشكلة من المواد البوزولانية أقل كثافة من التي يشكلها الكلنكر وتحتاج لوقت أطول لتصبح أكثر كثافة وقدرة على منح مقاومات. ولكن مع الوقت يزداد تأثير الفعل البوزولاني باستهلاك البورتلانديت وتشكيل روابط C-A-S-H & C-S-H جديدة، لذلك عادت وتحسنت مقاومات العينات الحاوية على الطمي.

٤- ٣ <u>تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على مقاومة الكبريتات:</u>

تعتبر مقاومة الكبريتات من أهم معايير الديمومة خصوصاً بالبيئات العدائية والقاسية، هذا من جهة ومن جهة أخرى معيار هام جداً لتقييم الأداء البوزولاني للإضافة، لذلك تم صب

مواشير (٤*٤*١٦) مم من عينات مرجعية وأخرى معدلة باستبدال ٢٠% من وزن الاسمنت بالطمي المرمد. وبعد حفظ القوالب ٢٤ ساعة برطوبة ٩٥% تم فك القوالب وغمر المواشير بمحلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 بتركيز ٥% مدة ٦٠ يوم وتم تبديل المحلول كل أسبوعين مرة مثل (Demir,2011) & (Rabehi, 2014) .

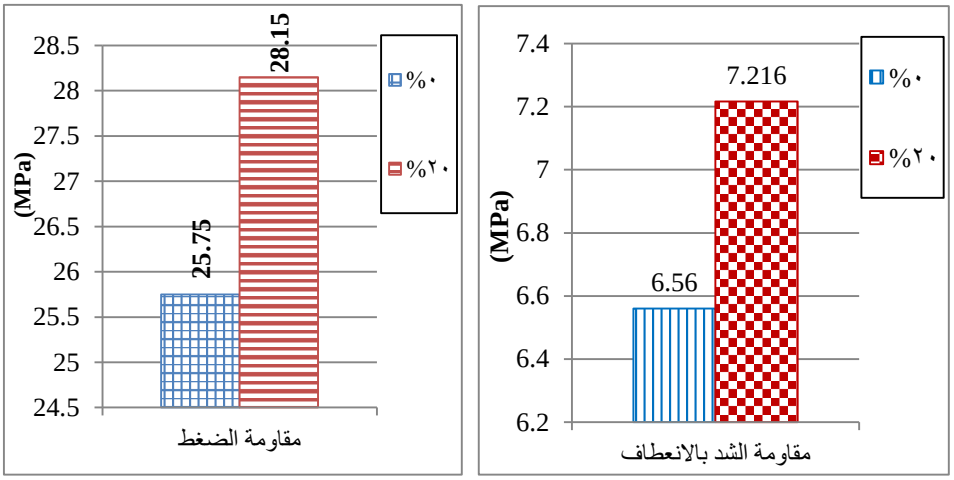
يظهر أثر الكبريتات على الخلطة بسبب التمدد الحاصل بالعجينة الاسمنتية بسبب تشكل الجبس السريع الذوبان والذي ينتج من تفاعل البورتلانديت مع الكبريتات وفق المعادلة(3)، والذي يتفاعل بدوره بوجود الماء مع C_3A الموجود بالاسمنت ليتشكل الاترنيغايت Ettringite $C_3A.3CaSO_4.32H_2O$ وفق المعادلة(4) حيث يسبب الاترنيغايت الناتج التشققات التي تتغلغل منها المواد المخربة وبالتالي تنقص المقاومات بسبب تهتك العجينة الاسمنتية (ACI 201.2R-01 , 2001).

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH \quad (3)$$

$$C_3A + 3CaSO_4.2H_2O + 26H_2O \longrightarrow C_3A.3CaSO_4.32H_2O \quad (4)$$

وبعد انتهاء ٦٠ يوم من الغمر بالكبريتات تم اخضاع العينات للكسر حسب EN 196-1 والشكل (٩) يظهر قيم المقاومات على الشد بالانعطاف وعلى الضغط للعينات المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠% حيث نجد أن العينات المعدلة بالطمي كانت مقاومتها أعلى لهجمات الكبريتات من العينة المرجعية، ويفسر ذلك بفضل الفعل البوزولاني الجيد للطمي المستخدم باستهلاك كمية أكبر من البورتلانديت وبالتالي التقليل من كمية الجبس المتشكل، أضف لأن حذف نسبة من الاسمنت يعني حذف نسبة من C_3A كل ما سبق قلل كمية الاترنغايت المتشكل، هذا بالاضافة لدور الطمي بزيادة كمية C-S-H التي ملأت الفراغات والمسام وعاقت نفاذية الكبريتات وبالتالي حسنت المقاومات (Rabehi,

(Demir, 2011)&2014) وكان من المتوقع أن نحصل على نسب تحسن أكبر فيما لو أطلنا فترة الغمر لأن الفعل البوزلاني يزداد تأثيره كلما مر الزمن.



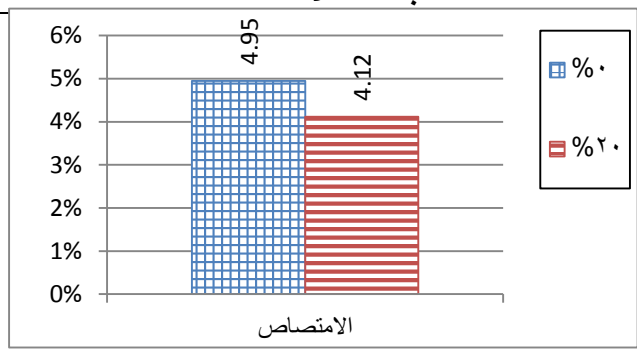
الشكل (٩) قيم مقاومة الضغط والانعطاف للعينات المرجعية والمعدلة بالطمي بعد الغمر بالكبريتات

٤- ٣ تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على امتصاص الخلطة:

بالإضافة لكون الامتصاص خاصية فيزيائية مهمة أيضاً تعتبر من أهم النقاط الدالة على ديمومة الخلطة. لذلك تم حساب الامتصاص بأخذ مقدار حوالي ١كغ من المواشير المصبوبة من خلطات مرجعية وأخرى معدلة بالطمي بعمر ٩٠ يوم وتم أخذ وزنها الجاف M1 بعد وضعها بالفرن بدرجة ١٠٥° مدة ٢٤ ساعة، ثم تم غمرها ٢٤ ساعة بالماء وحساب وزنها المشبع بالهواء M2 بعد تجفيف سطحها بمنديل وحساب قيم الامتصاص الموضحة بالشكل (١٠) وحسب العلاقة:

$$Absorption = (M2 - M1) / M1$$

نلاحظ من الشكل (١٠) أن الامتصاص قل بالعينة المعدلة بالطمي بحدود ٢٠ % وهذا يعود لطبيعة حبيباته التي تتمتع بقلة المسامية من جهة، ومن جهة أخرى قدرته بعمر ٩٠



يوم على تشكيل C-S-H & C-A-S-H جديدة والتي من شأنها أن تحسن اكتناز الخلطة وتشكل ما يشبه غشاء Membrane معوقاً يقلل الامتصاص (Mas , 2015).

الشكل (10) قيم الامتصاص للعينات المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠%

٥- الاستنتاجات والتوصيات:

تم من خلال هذه الدراسة تقييم الأداء البوزولاني لطمي تم أخذه بالاستعانة بغواص من سدود من المنطقة الساحلية (سد- الأبرش – سد بلوران – سد الصوراني) لتحديد الأداء البوزولاني لها وبالتالي إمكانية استخدام أي منها كمستبدل اسمنتي وتوصلنا للآتي :

١- لم يحقق طمي سد الصوراني وطمي سد الأبرش متطلبات ASTM C618 وبالتالي لا يصلح الطمي المتراكم بكل منها للاستخدام كمستبدل اسمنتي.

٢- حقق طمي سد بلوران متطلبات ASTM C618 وذلك بعد ترميده بالطرق العلمية وبالتالي يمكن اعتباره مادة بوزولانية صالحة للاستخدام بخلطات الاسمنت.

٣- تم تجريب ثلاث نظم لترميد طمي سد بلوران واختيار الأمثل، فكان الترميد بدرجة حرارة ٧٠٠ مدة ١٢ ساعة الأفضل، حيث أعطى الترميد بهذا الأسلوب معامل فعالية بقيمة 101% عند عمر ٢٨ يوم وهي قيمة جيدة جداً.

٤- قلل استخدام طمي سد بلوران قابلية تشغيل الخلطة الطرية بسبب نعومته ولكن بقي ضمن الحدود التي تحددها المواصفة ASTM C618.

٥- أنقص استخدام الطمي المقاومات وخاصة مقاومة الضغط أكثر من مقاومة الشد بالانعطاف بعمر ٧ و٢٨ يوم وتحسنت بعمر ٩٠ يوم لتصبح أعلى من المرجعية

٦- حسن طمي سد بلوران مقاومة الخلطة للكبريتات وقلل الامتصاص ولهذا أهمية بتحسين ديمومتها.

التوصيات:

١- إمكانية استخدام الطمي المرمد من سد بلوران كمستبدل اسمنتي حتى ٢٠% أو بصناعة اسمنت بوزولاني محلي مخفض الكلفة وصديق للبيئة، لأغراض تحسين الديمومة والتقليل من استهلاك الاسمنت لما لذلك من أهمية بيئية واقتصادية. فبالرغم من أن استخدام الطمي قلل المقاومات بأعمار مبكرة وخاصة مقاومة الضغط أكثر من مقاومة الشد بالانعطاف ولكن حسن خصائص الديمومة بشكل واضح، ولكن كون أن المصممون لايزالون يعتمدون بالتصميم على المقاومات باعتبارها معيار مهم لتصميم العناصر الحاملة (load-bearing) الأمر الذي جعل من استخدام المخلفات كمستبدلات اسمنتية محدود عملياً بالرغم من النتائج البحثية الجيدة تجاه تحسين خصائص الديمومة، ولكن التوجهات الحديثة بالتصميم تركز على موضوع الديمومة فمن غير المجدي تصميم خلطة بمقاومة عالية بخلطة لا يتمتع بديمومة جيدة خصوصاً (ACI 201.2 R-01 , 2001). وللقلقين من كون استخدام المخلفات ينقص مقاومة الضغط نوصي أنه يمكن استخدامها بالعناصر التي لا تعمل على الضغط بشكل أساسي أو بالعناصر غير الحاملة أو التي تكون عرضة للاهتراء أكثر مثل بيتون الأرضيات وبلاطات الارصفة وكذلك بالعناصر التي تكون ببيئات عدائية ككراجات السيارات والبيئات الساحلية ...الخ حيث يكون موضوع الديمومة حرجاً.

٢- دراسة أثر الطمي المستخدم على نقاط أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية كخصائص الانكماش وزمن الشك أو مقاومة الأحماض والقلويات.

٣- تجريب استخدام نسب أخرى من طمي سد بلوران (٥% - ١٠% - ١٥%...) لتحديد النسبة المثلى للاستبدال من هذا الطمي.

٤- فتح آفاق البحث حول إمكانية استخدام طمي سد بلوران المرمد في صناعة البلوك أوالقرميد أوالسيراميك بفضل خصائصه البوزولانية العالية بهدف توفير المصادر الطبيعية للغضار الذي تصنع منه هذه المنتجات.

٥- فتح آفاق البحث والعمل باتجاه استخدام طمي سد بلوران بتصنيع اسمنت بوزولاني محلي صديق للبيئة.

٦- المراجع:

1- ABOUBAKAR, M. and et al. 2014, **A Study on the Effect the addition of thermally treated Libyan Natural Pozzolan on the echanical Properties of Ordinary Portland Cement Mortar**. International Journal of Science and Technology, Vol. 3, No, 1, 79-84.

2- ACI Committee 201.2R-01. 2001, **Guide to Durable Concrete**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 41.

3- ACI Committee 232.1R. 2001, **Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 24.

4- ALAA, R. 2013, **Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition**. Construction and Building Materials, Vol. 41, 303-318.

5- ANSAL, J. and et al. 2014, **Calcined Clay Pozzolan as an Admixture to Mitigate the Alkali-Silica Reaction in Concrete.** Journal of Materials Science and Chemical Engineering, Vol. 2, 20-26.

6- ANTONI, R. and et al. 2013, **Effects of Calcination Temperature of LUSI Mud on the Compressive Strength of Geopolymer Mortar.** Advanced Materials Research, Vol. 626, No. 213, 224-228.

7- ASTM C618-12a: Type N. 2012, **Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete**. American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, 3.

8- BELAS, N. and et al. 2014, **Enhancing value of dam Dredged sediments as a component of a self- compacting concrete**. Intenational Jornal of Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 14, No. 12, 110-116.

9- BORGES, P. et al. 2016, **Performance of blended metakaolin/blastfurnace slag alkali-activated mortars**, Cement and Concrete Composites , Vol. 71, 42–52.

10- DINIKAR, P. et al. 2013, **Effect of Metakaolin Content on the Properties of High Strength Concrete**, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 7, No. 3, 215-223.

11- DEMIR, I. ؛ YAPRAK, H. 2011, **Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions**. J Ceramics Silikaty, Vol. 55, No. 3, 268-275.

12- EN 1170: Parts – **1 Measuring the plasticity of the mortar- 'Slump test' method.**

13- EN 196-1, **Methods of testing cement**, Part1: Determination of strength.

14- FERNANDEZ, R. 2009, **Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries**. Ph. D thesis, Lausanne university, 178.

15- KEPPERT, K. and et al. 2014, **Waste ceramics as supplementary cementitious material: characterization and utilization.** Transactions on Ecology on The Built Environment, Vol. 142, 231-239.

16- KHAN, S. and et al. 2013, **Application of Tarbela Dam RESERVOIR (TDR) silt as a Pozzolan and Production of Cement from TDR Silt**. MS. Thesis, Peshawar University, Pakistan, 75.

17- LAOUIFI, L. and et al. 2016, **Valorization of mud from Fergoug dam in manufacturing mortars**. Case Studies in Construction Materials, Vol. 5, December, 26–38.

18- LARA R. et al. 2011, **Study of the addition of calcined clays in the durability of concrete**, Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 26, No. 1, 25-40.

19- MALHOTRA,M. and et al. 2000, **Role of Supplementary Cementing Materials in Reducing Greenhouse Gas Emissions**. International Workshop on Concrete Technology for

a Sustainable Development in the 21st Century, London& New York.

20- MAS, M. et al. 2015, **Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement.** Advances in Cement Research, II, 1-12.

21- MEYER, C., 2009**, The greening of the concrete industry**. Cement and Concrete Composites, Vol. 31, 601–605.

22- MALU, S. and et al. 2013, **Characterization of Mbayion Clay for its Industrial Potentials**. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, 4(6), 769-772.

23- RABEHI, B. and et al. 2012, **Study of calcined halloysite clay as pozzolanic material and its potential use in mortars**. International Journal of the Physical Sciences, Vol. 7, No. 31, 5179-5192.

24- RABEHI, B. and et al. 2014, **Potential Use of Calcined Silt of Dam as a Pozzolan in Blended Portland Cement**. International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 8, No. 3, 259-268.

25- RAFIZA, A. and et al. 2012, **Comparison of original and sintered LUSI Mud volcano as Geopolymer Raw Material**. AdvancedScience Letters, Vol. 19, No. 1, 174-178.

26- SAFI, B. and et al. 2011, **Rheology and zeta potential of cement pastes containing calcined silt and ground granulated blast-furnace slag**. Matériaux de Construction, Vol. 61, No. 303, 353–370.

27- SAFI, B. and et al. 2012, **Use of silt dams as supplementary cementitious material in self -compacting concrete : effect on physical and mechanical properties**. Recycling, Vol. 4, 791-804.

28- SAFI, B. and et al. 2013, **Effect of the heat curing on strength development of self-compacting mortars containing calcined silt of dams and Ground Brick Waste**. Materials Research, Vol. 16, No. 5, 439-446.

29- TERREZA, M. and et al. 2017, **Portland blended cements: demolition ceramic waste management**. Materials DE Construction, Vol. 67, No. 325, 114-119.

30-TYDLITAT, V. and et al. 2012, **Hydration Heat Development in Blended Cements Containing Fine-ground Ceramics**. Thermochimica Acta, Vol. 543, 125 – 129.