



كلية الهندسة - جامعة بغداد

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية



اتحاد الجامعات العربية

أثر طمي السدود المرمد على ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية GRC

سوزان تفاعحة^{1*}، علي خيربك²، عماد فاضل³¹ قسم هندسة وإدارة التشييد جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.² قسم هندسة وإدارة التشييد جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.³ قسم هندسة وإدارة التشييد جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

* الباحث الممثل: سوزان تفاعحة

نشر في: 31 آذار 2019

الخلاصة – بهدف تحسين ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية، وضمن سياق تطبيقات الاستدامة والتقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد صديقة للبيئة، تم القيام بهذه الدراسة لاختبار دور المبتاكاولين المصنع من طمي السدود المرمد المأخوذ من بحيرة سد بلورن شمال اللاذقية على الساحل السوري، كمستبدل اسمنتي بنسب 10%- 15%- 20%- 25% بخلطات GRC، وتحديد تأثير كل منها على قوام الخلطة ومقاومة الشد بالانعطف على مدى 180 يوم، وكذلك اختبار دورها في تحسين البنية الداخلية للخلطة من خلال التقليل من محتوى هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)₂ فيها والذي اختبر باستخدام تقنية X-Ray Diffraction (XRD) الأمر الذي قلل بدوره من تهتك الألياف كما أظهرت الصور بالمجهر الإلكتروني Scanning Electron Microscopy (SEM) وكذلك درس دور الطمي المرمد بالسيطرة على التدهور الحاصل للمادة بمرور الزمن والذي اختبر من خلال الغمر بالماء الساخن بدرجة 50° لمدة 150 يوم وبحلقات التجفيف – ترطيب، وتم أيضاً دراسة أثره على الامتصاص والمسامية ومقاومة مهاجمة الكبريتات. أظهرت النتائج أنه ليس للطمي المستخدم أثر سلبي يذكر على قوام الخلطة أو على الخصائص الميكانيكية وتحسنت جميع عوامل الديمومة المدروسة.

الكلمات الرئيسية – ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية، المبتاكاولين، طمي السدود كمستبدل اسمنتي.

1. المقدمة

1 - تخريب كيميائي بسبب ايون OH- المتحرر من Ca(OH)₂ الذي يخرّب بنية الليف ويضعف سطحه -2- تخريب ميكانيكي بسبب بلورات Ca(OH)₂ التي تسبب قوى ضغط وقص على الألياف تؤدي لتهتكها ويظهر هذا النوع بالمراحل الأولى من عمر المنتج قبل أن يصبح التخريب الكيميائي فعالاً -3- تهتك بسبب الحمولات الخارجية بعد عمر طويل للمنتج.

استخدمت بعض الدراسات المهمة بتحسين ديمومة Durability خلطات GRC أنواع اسمنت منخفضة القلوية من نوع calcium sulfoaluminate مثل [14] و [41] أو من نوع calcium aluminate cement مثل [11] وأعطى استخدام هذه الأنواع نتائج أفضل من البورتلاندي العادي تجاه تحسين ديمومة GRC لكن لها سلبيات فكلية تصنيعها أعلى وانتاجها أقل. لذلك تركز الاهتمام باتجاه استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المتوافر دوماً وتعديل خلطته إما باستخدام البوليمرات الاكربليكية التي تعمل على تشكيل غلاف يحمي سطح الالياف ك [40] أو باستخدام إضافات بوزلانية كخبث الأفران Slag مثل [39] أو الرماد المتطاير Fly Ash مثل [22] أو كهباب السيليس silica fume مثل [19]، هذا بالإضافة لاستخدام المبتاكاولين Al₂Si₂O₇ ويسمى أحياناً الصلصال الصيني ويتشكل من تعريض الكاولن الموجود بالطين لدرجات حرارة عالية الأمر الذي يحطم البنية البلورية للمنرات الموجودة فيه Crystalline structure ويحولها لبنية غير متبلورة Amorphous وبهذه البنية يستطيع أن يلعب دوراً بوزلانياً فعالاً باستهلاك كمية أكبر من Ca(OH)₂ وتشكيل روابط (C-S-H) gel & (C-A-S-H) جديدة والتي تتميز بطبيعة هلامية كارهة للماء تسد المسامات وتملأ الفراغات وبالتالي مقاومة وديمومة أعلى [3] و [42]

قامت الكثير من الدراسات المهمة باستخدام الطين المرمد كمستبدل اسمنتي بتجريب عدة درجات ترميد ولفترات متعددة بمعدل ارتفاع الحرارة 5 درجات في الدقيقة لتجنب الصدمة الحرارية، وذلك لاختبار نظام الترميد الأنسب للطين المستخدم الذي يعطي أعلى معامل فعالية Strength activity index إعطاء أعلى قدر من السيليكا التفاعلية Active Silica الغير

إن الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية GRC أو GFRC اختصاراً لـ Glass Fiber Reinforced Concrete عبارة عن مادة مركبة Composite Material مكونة من ملاط اسمنتي مع بعض الإضافات كالملدنات Superplasticizers وغيرها، ويتم تسليح هذا الخليط باستخدام نوع خاص من الألياف الزجاجية مضادة القلوية AR-glass يتميز هذا النوع من الألياف عن باقي أنواع الألياف الزجاجية بمحتوى عال من الزركونيوم (>16% ZrO₂) مما يجعل منها مقاومة للأوساط الاسمنتيية عالية القلوية [26] و [14] حيث تلعب الألياف دور مقاومة قوى الشد ومقاومة التشققات التي لا تمتلكها بشكل كافي الخلطة بسبب طبيعتها الانقصافية (Brittle) بالإضافة إلى زيادة التماسك وتقليل نفاذية الماء والأملاح الأمر الذي يزيد الديمومة. [34]

إن منتجات GRC هي مسبقة الصنع تنفذ باستخدام إما أسلوب الرش Spray أو المزج Premix وتستخدم لأغراض التشييد السريع وأعمال الإكساء الداخلي والخارجي للمباني أو كخزانات وقنوات للري والصرف وفي أعمال الترميم فوق مبني أساساته غير معدة لتحمل حمولات إضافية وفي مجالات أخرى كثيرة، باعتبارها مادة سهلة القولية يمكن تصنيع أشكال مختلفة منها وقابلة للفك والتكيب بسهولة، كما أنها خفيفة الوزن كونها تصنع بمقاطع نحلية من مرتبة مليمترات بالإضافة لخصائصها الميكانيكية العالية [48] إلا أنه لوحظ نقص بخصائص الشد مع مرور الزمن وهذه الخصائص متعلقة بشكل أساسي بالألياف، ويعزى ذلك لتعرض هذه الألياف للتلف مع مرور الزمن ضمن بيئة قلوية قاسية كالوسط الاسمنتي، وتؤكد الدراسات أن التدهور الذي يحصل للألياف لا علاقة له ببنية الألياف خصوصاً باستخدام ألياف من نوع AR-glass التي تكون معدة لتحمل القلوية، بل ببنوية الخلطة ومحتواها القلوي المتعلق بشكل أساسي بكمية هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)₂ وهو ما يعرف بالبورتلانديت الذي ينتج من عملية إماهة الاسمنت Cement [14] (hydration) و [10] و [28] حيث يوصف (R-10) (ACI 544.5 R-10) ألية تخريب الالياف الزجاجية ضمن بيئة قلوية قاسية كالوسط الاسمنتي:

متبلورة، أي هو النظام الأمثل لكسر البنية البلورية للمنزالات الموجودة بالطين ولكن بالمقابل لا يشوهها ويحطمها ويجعلها غير قادرة على التفاعل، وهو يعتمد على التركيبة الكيميائية والمنزالية للطين المستخدم، حيث جرب [31] الترميد لمدة 3 ساعات بدرجات 750-850-950°C لظمي من سد فيرجوج بالجزائر، وجرب [7] ترميد ظمي من أندونيسيا لمدة 5 ساعات بدرجات 700-800-900°C، أما [42] فجرب الترميد لمدة 5 ساعات بدرجات (650-700-750-800)°C، ولكن تعتبر الدراسة التي أجراها [5] من الدراسات الأهم بهذا المجال حيث أجرى دراسة مستفيضة لاختيار نظام الترميد الأنسب للتصنيع الأمثل للميتاكاولين بعد مراجعة لأكثر من 250 بحث بهذا المجال ولأنواع كثيرة من الأطيان، وتوصل الباحث أن الترميد بدرجة بين 600-850°C لمدة تتراوح من 1-12 ساعة هو الأمثل للحصول على ميتاكاولين بخصائص بوزولانية عالية، كما توصل أن الترميد مدة 12 ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة 700°C مثلاً، والترميد لمدة 2 ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة 800°C.

وللقلقين كون استخدام المخلفات ينقص مقاومة الضغط نقول أنه يمكن استخدامها بالعناصر التي لا تتعرض للضغط بشكل أساسي أو التي تكون عرضة للاهتراء أكثر مثل بلاطات الأرصفة أو بالعناصر غير الحاملة كعناصر GRC والتي يعتبر موضوع تحسين ديمومة الألياف أولوية وموضوع بحث، أضف لأهمية استخدام المواد البوزولانية مع خلطة مثل GRC تستهلك كمية كبيرة من الاسمنت لا تقل بشكل عام عن 50% من إجمالي الوزن في تقليل الحرارة الداخلية للخلطة خصوصاً بالأجواء الحارة، حيث يؤكد [20] أن المواد البوزولانية تنهجر بدرجة أقل من الكلنكر الأمر الذي يساهم بتخفيض حرارة الخلطة ويجعلها تلعب دور براد داخلي فيها.

كما أن استخدام الطمي المرمد كمستبدل اسمنتي يساهم بالتقليل من استهلاك الاسمنت الذي أسعاه بتزايد مستمر، هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن التقليل من استخدام الاسمنت يعني التقليل من التلوث الناتج عن تصنيعه، حيث ترتب صناعة الاسمنت بالمراتب الأولى بين الصناعات المسببة للتلوث حول العالم، حيث يسبب إنتاج طن اسمنت انبعاث طن من غاز CO₂ أي ما يزيد عن 2 بليون طن سنوياً وهذا يعادل 7% من إجمالي انبعاث الكربون بالعالم [36] و [35] كما ويؤكد [50] أن استبدال حتى 25% من الاسمنت ممكن أن ينقص كمية CO₂ بمقدار 3.8*10⁸ طن بالسنة.

2. أهمية البحث وأهدافه

تحسين ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية والتي تعتبر المشكلة الأكبر التي تواجهها خصوصاً كونها مادة يمكن اعتبارها جديدة على صناعة التشييد في سورية، وينتظر أن تكون مادة واعدة للاستخدام في عملية إعادة الإعمار خصوصاً في أعمال التشييد السريع، وبالتالي يمكن للمستثمر الراغب باستخدامها طرح الكثير من الأسئلة حول ديمومتها.

- التوظيف المجدي للكميات الهائلة للظمي المتركم بسد بلوران نتيجة الحركة الهيدروليكية للماء والترسبات الطبيعية وانجراف التربة، لتشجيع التخلص من هذه المخلفات خوفاً من أن تتحول البحيرة لوعاء طيني للماء، وتضعف الوظيفة التخزينية للسد (التي تزيد تصميمياً عن 15 مليون متر مكعب ماء)، ولكن دون التطرق لتقنيات الجرف لأنه محور بحث آخر.

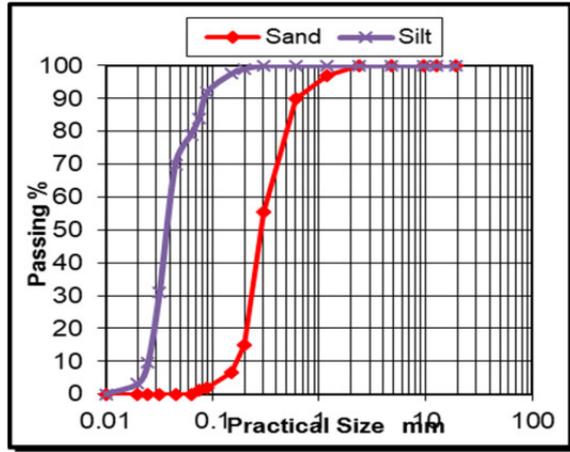
- دعم التحقيقات حول استخدام الميتاكاولين المصنع من ترميد ظمي السودان مع خلطات GRC بالرغم من نتائجها الجيدة مع خلطات الملاط والبيتون، ولكن الأبحاث حول استخدامها مع GRC محدود جداً وبحاجة لمزيد من التحقيقات كونها مادة مركبة Composite Material وتصنع بمقاطع نحيلة (مليمترات) ولها طرق خاصة للتقييم والاختبار.

- توسيع نطاق البحث في مجال تطبيقات الاستدامة والتي تعتبر مواضيع الساعة، وذلك من خلال التشجيع على تدوير المخلفات وأيضاً التقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، خاصة كون أن خلطة GRC غنية بالاسمنت، بالإضافة لأهمية التقليل من استهلاك الاسمنت من ناحية اقتصادية

أعطى استخدام الميتاكاولين كمستبدل اسمنتي بخلطات GRC نتائج ممتازة تجاه تحسين ديمومة GRC وكثيراً ما كانت أفضل من النتائج التي أعطتها مواد بوزولانية أخرى، حيث أعطى استخدام 15% من الميتاكاولين مع GRC عند De Gutierrez, 2005 نتائج أفضل من العينات المعدلة بهباب السيليس أو بالرماد المتطاير، وعند [14] قلل استخدام 20% ميتاكاولين محتوى هيدروكسيد الكالسيوم بخلطة GRC وبشكل أفضل من العينات المعدلة 50% بخبث الأفران، وأيضاً جرب [49] تأثير حتى 20% من الميتاكاولين على الامتصاص وخصائص الشد بالانعطاف لألواح GRC بعد غمرها بحمامات الماء الساخن بدرجة 50°C فكانت النتائج أفضل من العينة المرجعية ومن العينات المعدلة بهباب السيليس، أيضاً عند [27] كان لاستخدام 10% من الميتاكاولين أثر واضح في تحسين مقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC بعد غمرها بحمامات الماء الساخن 50°C كما قلل من تشقق الأسطح وتهدك الألياف كما أوضحت الدراسة المجهرية وبشكل أفضل من العينات المعدلة بهباب السيليس 20%، وقلل استخدام الميتاكاولين الامتصاص والانكماش والتمدد بالحرارة عند [27]

تعتبر عملية ترميد ظمي السودان كعملية تصنيع للميتاكاولين بسبب احتوائه على نسب عالية من منزالات الكاولن [43]، لذلك وجدنا أنه يمكن الاستفادة من الأطنان الهائلة للظمي المتركمة في قاع الكثير من سدودنا المحلية والتي أصبحت عائقاً أمام الوظيفة التخزينية للسد وترميدها وفق الطرق العلمية المعتمدة، أي تصنيع ميتاكاولين ولكن بطين محلي وبكلفة أقل منه ومن مواد بوزولانية صناعية، حيث تؤكد الدراسات الخصائص بوزولانية الجيدة لظمي السودان المرمد عند استخدامه كمستبدل اسمنتي حيث أعطى نتائج أفضل من خبث الأفران عند [45] وأفضل من البوزولانا الطبيعية المحلية عند استخدامه مع البيتون ذاتي الارتصاص عند [9]، كما وقلل استخدام ظمي السودان المرمد الامتصاص وحسن المقاومات عند [46]، وعند [43] حسن استخدام الطمي المرمد من سد شورفا بالجزائر مقاومة الأحماض والكبريتات وقلل نفاذية الكلوريدات وبشكل أفضل من هباب السيليس لذلك أوصي باستخدامه لتصنيع اسمنت بوزولاني، وقلل الظمي المرمد التفاعل القلوي للحصويات والتشققات الناتجة عنه عند (Anshah, 2014)، وأكد [30] إمكانية استخدام الطمي المرمد من سد تاربيلا بالبلاستان في تصنيع اسمنت بوزولاني حيث لم يلحظ أثر سلبي واضح على المقاومات أو زمن الشك كما قلل من استهلاك الطاقة اللازمة للتصنيع، كما وحسن الظمي المرمد من سد فيرجوج بالجزائر المقاومات عند اعتماد أسلوب المعالجة بالتسخين لتسريع الحصول على المقاومات المبكرة عند [47]، كما أكد [31] الخصائص البوزولانية العالية لظمي هذا السد وبالتالي إمكانية استخدامه بتصنيع اسمنت بوزولاني أقل كلفة وصديق للبيئة، ويذكر [37] أن للطين المرمد خصائص جيدة تجعله صالح للاستخدام بصناعة القرميد والسيراميك.

بمعظم الدراسات المذكورة سابقاً حسن استخدام الطمي المرمد خصائص الديمومة، ولكن كانت تقل المقاومات بأعمار مبكرة خصوصاً مقاومة الضغط، فالنقص الحاصل بمقاومة الانحناء نتيجة استخدام هذه المخلفات كان أقل منه مقارنة بمقاومة الضغط، وكون أن المصممون لا يزالون يعتمدون بالتصميم على المقاومات سيما مقاومة الضغط باعتبارها معيار مهم لتصميم العناصر الحاملة (load-bearing) الأمر الذي جعل من استخدام المخلفات محدود عملياً بالرغم من النتائج الجيدة تجاه تحسين خصائص الديمومة، ولكن



الشكل 1: التدرج الحبي للرمل والطيني

طيني سد بلوران (CS): تم أخذ كمية من الطمي من عدة مناطق مغمورة من سد بلوران، وللحصول على الميتاكاولين تم تطبيق الإجراءات التي اعتمدها الدراسات، فبعد تنظيف الطمي من الأعشاب والأجسام العالقة تم تجفيفه 24 ساعة بدرجة 105 ° C ثم تم طحنه بمطحنة تحتوي كرات معدنية متعددة الحجم ووزنها الاجمالي 12635 غ للحصول على مطحون بنعومة سطح بلين = 4285 سم²/غ ومن ثم ترميده. ونظراً لعدم توافر معلومات مسبقة عن الترميد الأنسب لطيني سد بلوران قمنا بتجريب ثلاث نظم ترميد اعتمدت بشكل كبير الدراسات المرجعية، الأول: الترميد بدرجة 700 مدة 12 ساعة (SC1) مثل [5] والثاني: الترميد بدرجة 750 ساعات (SC2) مثل [43] & [47] [46] [45]، والثالث: الترميد بدرجة 800 مدة ساعتين (SC3) مثل [1] & [44] وبجميع الحالات كان تزايد الحرارة بمعدل 5 ° C في الدقيقة لتجنب الصدمة الحرارية، ثم قيس معامل الفعالية ** للطيني بعمر 28 يوم من أجل نظم الترميد الثلاثة وكانت النتائج كالتالي:

$$(SC1=108\% , SC2=102\% , SC3=99\%)$$

من الواضح أن النظام الأول هو الأمثل لأنه أعطى أكبر معامل فعالية، لذلك اعتمدها بالدراسة. التدرج الحبي للطيني المستخدم موضح بالشكل 1 والذي يبين أن المار من منخل 80 ميكرون أكثر من 80% محققة كما توصي بعض الدراسات [43].

الجدول 2: التحقق من التوافق مع ASTM C618

الاشتراطات	ISC	ASTM C618
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	85.67	70 min
SO ₃ محتوى الكبريتات(%)	510.	4 max
L.O.I الفاقد بالحرق(%)	1.38	10 max
النوعومة بقياس المتبقي على المنخل (45µ %)	30	34 max
معامل الفعالية عند 28 يوم %	108	75 min

** معامل الفعالية: يعرف حسب ASTM C618 أنه قيمة مقاومة الضغط بعمر 28 يوم للعينة المعدلة 20% بالطيني مقسوماً على مقاومة الضغط للعينة العينة المرجعية وذلك باستخدام الرمل النظامي المخبري.

وحتى يعتبر الطمي SC1 مادة بوزولانية صالحة للاستخدام كمستبدل اسمنتي بخلطات الاسمنت البورتلاندي يجب أن يحقق المواصفة ASTM C 618

3. منهج البحث

تم إجراء الاختبارات اللازمة للبحث بمخابر: (كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين - معمل

%	Cement	silt	Sand
SiO ₂	22.74	58.42	97.77
Al ₂ O ₃	5.12	17.8	0.13
Fe ₂ O ₃	4.51	9.45	0.4
CaO	63.41	9.7	0.56
MgO	2.97	0.55	0.1
SO ₃	1.45	0.15	-
L.O.I	1	0.98	0.33
C ₃ S	34.81		
C ₂ S	39		
C ₃ A	5.95		
الكثافة	3.15	2.56	2.68

اسمنت طرطوس - الهيئة العامة للطاقة الذرية بدمشق/ مخابر يعفور- المعهد العالي للبحوث العلمية والتكنولوجية بدمشق/ مخابر برزة)

3-1 توصيف مواد البحث

الاسمنت (PC): الاسمنت المستخدم بورتلاندي نوع I تصنيع معمل اسمنت طرطوس صنف 32.5 تحليله الكيميائي مبين بالجدول I وهو محقق للمواصفة القياسية السورية (1985/332) حسب التالي:

$$\text{مقاومة الضغط 7 يوم } Mpa = 17.6 \leq 16 \text{ OK}$$

$$\text{مقاومة الضغط 28 يوم } Mpa = 33.2 \leq 32.5 \text{ OK}$$

$$\text{زمن التماسك البدائي } \text{min} = 100 \leq 75 \text{ OK}$$

$$\text{ثبات الحجم } 1.2 \text{ مم} \geq 10 \text{ مم OK}$$

$$\text{الفاقد بالحرق } 1.9 \% \geq 5 \% \text{ OK}$$

$$\text{محتوى } SO_3 = 1.45 \% \leq 3.5 \% \text{ OK}$$

$$\text{محتوى الكلوريدات } = 0.019 \% \geq 0.1 \% \text{ OK}$$

الجدول (1) التركيب الكيميائي للاسمنت والرمل والطيني باستخدام (XRF) (X-ray Fluorescence)

الرمل: تم استخدام رمل طبيعي سيليسي أبيض اللون من منطقة القريتين، ويعتبر من أنواع الرمل الناعم جداً لأن معامل نعومته 1.6% > 2%. التحليل المنخلي للرمل محقق للمواصفة البريطانية BS 882 وهو موضح بالشكل 1

للتحقق من نسبة الشوائب والأملاح المنحلة تم قياس نسبة المار من منخل 150 ميكرون (6.7% > 10%) وهذا محقق بالرمل المستخدم، وأيضاً تم حساب المكافئ الرملي (83.32% < 80%) أما بالنسبة لمحتوى الكبريتات 0.4% ≤ SO₃ = 0.00 محققة أيضاً، وبالتالي الرمل نظيف ولا داعي لغسله.

ويوصى بخلطات GRC عند اعتماد أسلوب الدمج Premix بالتصنيع حسب [12] و [23] أن تكون نسبة المار من الرمل من منخل 2.4 مم %100

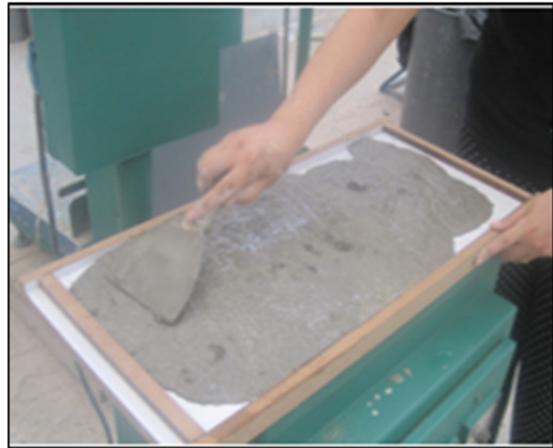
وهي الرابطة العالمية لصناعة GRC وتتضمن عضوية أكثر من 20 دولة رائدة بهذه الصناعة وللصادر: [13] و [38] و [23] و [12]

الكميات اللازمة لتصنيع لوح واحد موضحة بالجدول 5 حيث بقيت نسبة الألياف 3% من إجمالي وزن الخلطة و $W/C=0.33$ و $S/C=1$ ثابتة من أجل جميع الخلطات، تم تثبيت كمية الرمل واستبدال جزء من الاسمنت بنسب 10%-15%-20%-25% على التوالي والتعويض عنها بالطمي المرمد بحيث تبقى $S/C=1$ ثابتة لجميع الخلطات.

وبعد وزن المواد بدقة تم وضع الاسمنت والماء والملدن بالخلط مدة 15-30 ثانية ثم أضيف الرمل واستمر الخلط مدة 30 ثانية، ثم تم إضافة الألياف بهدوء بعد تخفيض سرعة الخلط لضمان عدم تكسر الألياف وخلطت مع الملاط مدة 30-60 ثانية، وبعد دهن القالب الذي أبعاده $(1*30*65)$ سم بمادة عازلة تم وضع الخليط بالقالب وهو على طاولة هزازة لضمان ملئه بشكل انسيابي وطرده فقاعات الهواء وتغلغل جيد للألياف بالملاط ثم تم تسوية السطح بالمالج للحصول على وجه أملس كما موضح بالصور 1 و 2.



الصورة 1: دهن القالب بالمادة العازلة



الصورة 2: القالب على المنضدة الهزازة

المعالجة Curing: تم تغطية الألواح وهي بالقوالب بالبولىثين Polythene مدة 24 ساعة للحفاظ على الرطوبة، ثم تم فك القوالب وحفظ الألواح برطوبة 90%-95% مدة 28 يوم، بعدها تم نشر عينات من هذه الألواح بأبعاد $(1*5*30)$ سم لاستخدامها بالاختبارات كما يظهر بالصورة 3

Type N كما هو موضح بالجدول 2، بملاحظة الجدول المذكور نجد أن الطمي المستخدم يحققها ويصلح مادة بوزولانية



الطمي بعد الترميد

الطمي قبل الترميد

الملدن (S.P) : الملدن المستخدم هو من أنواع Superplasticizers بهدف إعطاء قابلية تشغيل جيدة للخلطة دون الحاجة لزيادة كمية الماء كون أن الخلطات الحاوية على ألياف تكون قابلية تشغيلها أصعب، ويستخدم عادة مع GRC بنسب تتراوح بين 0.5%-2.5% من وزن الاسمنت، وهو من أنواع البولي كاربوكسيلات Polycarboxylate الحاوي بشكل أساسي على ميلامين الكبريتات أو النفتالين وتعتبر الأفضل مع خلطات GRC خصوصاً عند اعتماد طريقة Premix بالتصنيع ويحقق اشتراطات ASTM C494 Type F وخصائصه موضحة بالجدول 3

الجدول 3: خصائص الملدن

سائل لزج	شكل الملدن
بني	لون الملدن
1.06	الوزن النوعي
-	أيون الكلوريد
6.6	PH

الألياف الزجاجية: محققة لخصائص الألياف الزجاجية المستخدمة بالخلطات الاسمنتية EN 15422 وهي من تصنيع شركة (Nippon Electric Glas) العالمية ولها الخصائص الموضحة بالجدول 4.

الجدول 4: خصائص الألياف الزجاجية

نوع الألياف	مضادة القلوية AR-Glass
محتوى ZrO_2	$17\% <$
محتوى الرطوبة	$0.5\% >$
القطر μ	18
الطول mm	13
معامل المرونة GN/m^2	72
الوزن النوعي GN/m^2	2.68

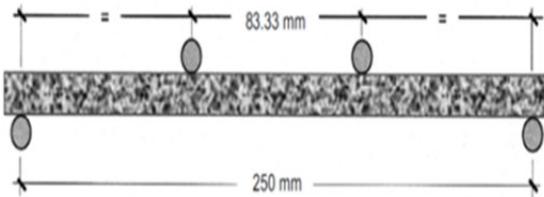
3-2 طريقة الخلط والمعالجة: تم اعتماد أسلوب الخلط Premix لتصنيع ألواح من GRC وللإطلاع على تقنيات التصنيع ونسب الخلط المناسبة، تم العودة لأصحاب الخبرة ولشركات رائدة بصناعة GRC بالإضافة لمنشورات GRCA: (Glass Fiber Reinforced Concrete Association)

كما يؤكد [24] و [38] أن نجاح عينات GRC بعمر 28 يوم بهذا الاختبار يعكس بنسبة 95% نجاحها باجتياز باقي المقومات .



الصورة 4 : قياس قطر الانتشار حسب EN 1170-1

تم تطبيق تسارع حمولة 1.5م/دقيقة حسب EN 1170-5 ومن ثم أخذ قيمة وسطية لكسر 3 عينات في كل مرة، ومن ثم تم حساب ما يعرف بدراسات GRC بحد التمزق على الانحناء Modulus Of Rupture (MOR) وهو الاجهاد المقابل للحمولة الحدية المسببة للانهايار. تعتبر جميع المقومات الناتجة بعمر 28 يوم المبينة بالشكل (3) مقبولة تصميمياً وملبية لكثير من الوظائف بالنسبة لعنصر مصنع بطريقة Premix وبالنسب والكميات المستخدمة.



الشكل 2 : اختبار الانحناء بحسب EN 1170-5

الجدول 7 : النسب المئوية لتحسن مقومات الانحناء

النسب المئوية لتحسن المقومات مقارنة بالعينة المرجعية				
25%	20%	15%	10%	
-10.95	-8.76	-4.38	-3.65	days7
-1.67	1.67	2.22	5.00	28 days
7.81	4.09	4.62	8.87	56 days
12.76	10.18	7.61	10.70	90 days
20.18	14.91	12.28	7.02	180 days

3-3-3 تأثير الطمي المرمد على خصائص الديمومة:

سيتم دراسة دور الطمي بتحسين البنية الداخلية micro-structure للخلطة وبالتالي ديمومة أعلى للألياف من خلال مايلي:

أولاً: تأثير الطمي على محتوى $Ca(OH)_2$



الصورة 3 : العينات المنشورة من الألواح

الجدول 5 : كميات الخلط اللازمة لتصنيع لوح واحد

	0%	10%	15%	20%	25%
Sand (g)	2100	2100	2100	2100	2100
Cement (g)	2100	1890	1785	1680	1575
Silt (g)	0	210	315	420	525
Water (g)	700	700	700	700	700
Fiber (g)	150	150	150	150	150
S.P (g)	21	22	23	52	72
W/C	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
S/c	1	1	1	1	1

3-3 النتائج والمناقشة:

3-3-1 تأثير الطمي المرمد على قابلية تشغيل الخلطة:

لقياس تأثير الطمي على قوام الخلطة تم قياس قطر الانتشار Flow اسطوانة تم تصميمها لهذا الغرض قطرها الداخلي 57 مم بارتفاع 55 مم، كما يوصي EN 1170-1 المستخدم لقياس قابلية تشغيل المنتجات النحيلة Thin Section من مادة GRC ويحدد ASTM C 618 أن لا يتجاوز تأثير الاضافة البوزلانية المستخدمة على قطر الانتشار ± 5 مقارنة بالعينة المرجعية (CON)، أي يجب أن يكون قطر الانتشار للعينة المعدلة بالطمي ضمن المجال (166.25 - 183.75) مم كون قطر انتشار العينة المرجعية 175مم.

قلل استخدام الطمي من قابلية تشغيل الخلطة نوعاً ما وهذا ينسجم مع [31] و [47] وذلك بسبب مساميته ومساحة سطحه الكبيرة مما يجعله يستهلك كمية أكبر من ماء الخلط، مما اضطرنا لزيادة نسبة الملدن قليلاً (من 1% من وزن الاسمنت إلى 1.2%). نلاحظ من الجدول 6 أن الطمي المستخدم حقق كلا المواصفتين المذكورتين

الجدول 6 : قيم قطر الانتشار

CS %	0%	10%	15%	20%	25%
Flow (mm)	175	173	117	691	681

3-3-2 تأثير الطمي المرمد على مقاومة الشد بالانعطاف:

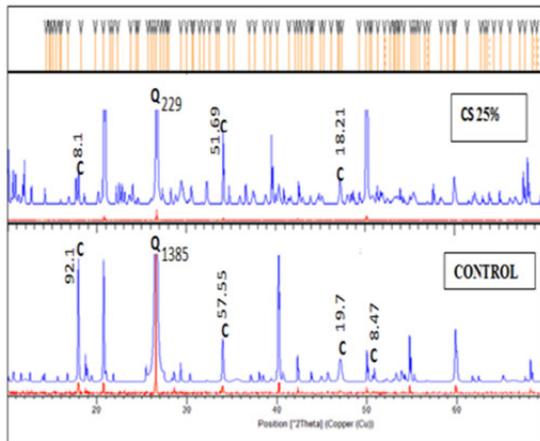
لتحديد أثر الطمي المستخدم على الخصائص الميكانيكية للمادة تم قياس مقاومة الانحناء Flexure Strength بحسب EN 1170-5 الموضح بالشكل 2 والصورة 5 المعتمد لقياس مقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC وقمنا بمراقبة المقومات على مدى 180 يوم، كون أن مقاومة الانحناء هي المعيار التصميمي الأهم لتقييم جودة عنصر نحيل Thin Section كمنتجات GRC،



الصورة 5: جهاز اختبار الانحناء حسب EN 1170-5

الجدول 8: تحسن الامتصاص والمسامية

تحسن الامتصاص %				تحسن المسامية %				days
25 %	20 %	15 %	10 %	25 %	20 %	15 %	10 %	
4	4	4	7	7	7	6	9	28
12	13	7	16	15	15	12	17	56
15	12	15	18	19	15	18	19	90
38	30	31	29	41	33	33	31	180

الشكل 4: التحليل المنرالي XRD للعينة المرجعية والعينة المعدلة بالطمي (Q = Quartz , C = Ca(OH)₂) يوم 360

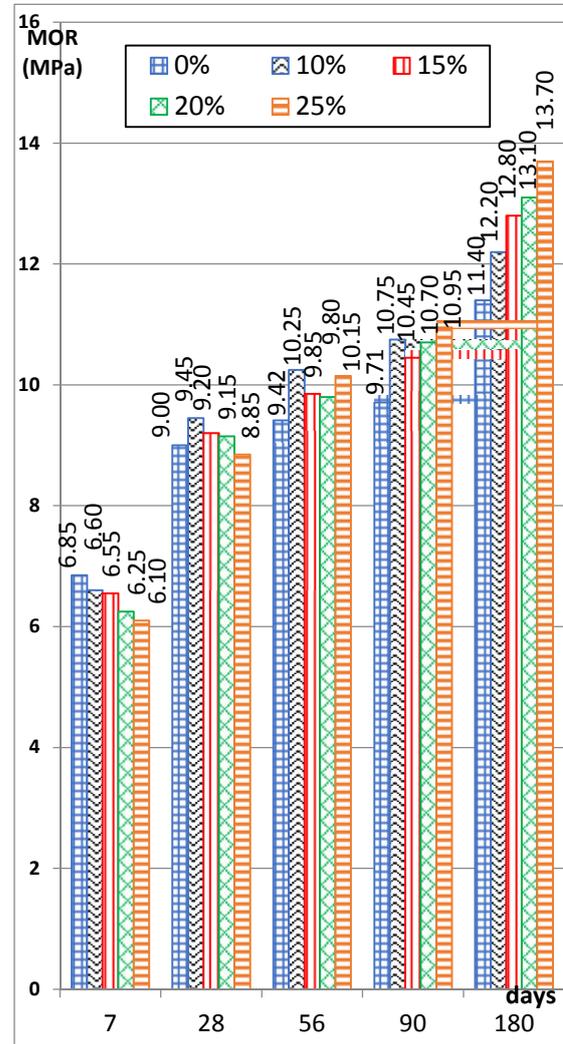
*** تم عمل تكبير zoom للمخطط وذلك لتوضيح قراءته مما سبب حذف جزء من الذروة للكوارتز عند $\Phi 2 = 26.5^\circ$ ولكن القيمة موضحة على الرسمة

ثانياً: تأثير طمي على الامتصاص والمسامية:

يعتبر نقص الامتصاص والمسامية من أهم النقاط الدالة على ديمومة أعلى، لذلك تم حساب الامتصاص والمسامية حسب EN 1170-6 المعتمد لقياس الامتصاص والمسامية لعينات GRC بأخذ مقدار 1 كغ تقريباً مقطعة بأبعاد 50*50 مم من كل لوح من الألواح وأخذ وزنها الهيدروستاتيكي وهي معلقة بالماء بعد غمرها 7 أيام بالماء M1 ثم وزنها المشبع بالهواء M2 بعد تجفيف سطحها بمندبيل، ثم أخذ وزنها الجاف M3 بعد وضعها بالفرن بدرجة 105° مدة 24 ساعة وتطبيق العلاقات الآتية:

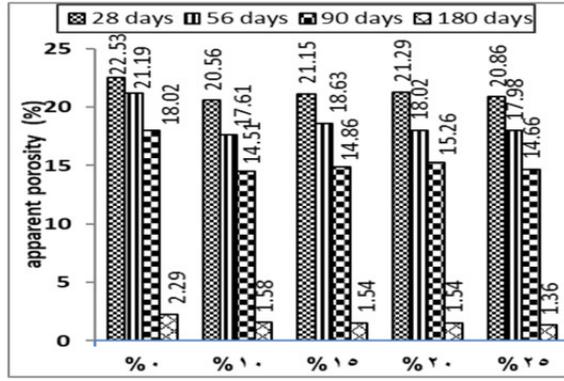
$$\text{apparent porosity} = (M2-M3)/(M2-M1)*100$$

إن نقص محتوى Ca(OH)₂ سبب أساسي لتحسين ديمومة GRC وأيضاً مؤشر لتقييم الأداء البوزولاني للطمي، وللمقارنة تم إجراء تحليل منرالي للعينة المرجعية ومقارنته بالعينة المعدلة بالطمي 25% وذلك باعتماد تقنية انعراج الأشعة السينية (XRD) بجهاز من نوع Philips بسرعة مسح $0.02^\circ/\text{sec}$



الشكل 3: تطور مقاومة الانحناء لجميع الخلطات خلال 180 يوم

تم تحليل النتائج باستخدام برنامج X'Pert HighScore Pluse system والناتج موضحة بالشكل 4 حيث نجد بالعينة المعدلة بالطمي ظهور ذرى Peaks لمركبات إضافية تعود لتركيب الطمي ومحتواه من المعادن الطينية، ولكن بالنسبة للذرى المتعلقة بالبورتلانديت تم تتبع قيم الشدة Intensity من أجل أكثر من ذروة للبورتلانديت وذلك حسب (Selected Pattern PDF#004-0733) حيث يمكن أن نلاحظ وبوضوح نقص بمحتوى البورتلانديت للعينة المعدلة بالطمي 25% من أجل جميع الذرى هذا يدل على استهلاك الطمي للبورتلانديت، حيث بلغ النقص أوجه عند $\Phi 2 = 18^\circ$ حيث قلت الشدة من (count 92.1) إلى (count 8.1) وبالحقيقة هذه الزاوية من أهم الزوايا التي يلاحظ عندها [21] Ca(OH)₂ وتتبع قيم الذرى للكوارتز (Quartz) يعبر عن الميزالات المتبلورة) عند أهم زاوية له ($\Phi 2 = 26.5^\circ$) نجد الشدة بالعينة المعدلة بالطمي (count 229) مقارنة بالعينة المرجعية (count 1385) بالرغم من أن محتوى السيليكا والألومينا بالعينات المعدلة بالطمي أكبر، وبالتالي يمكن أن نستنتج ببساطة أن معظم مزارات الطمي لم تظهر بشكل كوارتز وإنما هي غير متبلورة Amorphous بشكل أكاسيد قادرة على الاتحاد مع Ca(OH)₂ وتشكيل C-S-H و S-H إضافية وهذا ساعد على تحسن المقامات والديمومة بالعينات الحاوية على الطمي [45]



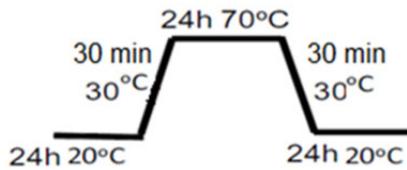
الشكل 5: قيم الامتصاص والمسامية لجميع الخلطات

الجدول 9: تدهور مقاومات العينات المغمورة بالحمام الساخن مقارنة بالعيينة المرجعية

نسب التحسن مقارنة بالعيينة المرجعية بعد 150 يوم غمر (%)	نسب التحسن مقارنة بالعيينة المرجعية بعد 56 يوم غمر (%)	نسب التحسن مقارنة بالعيينة المرجعية بعد 28 يوم غمر (%)	CS %
32.82	30.88	24.12	10%
30.1	25.31	20.37	15%
28.78	24.10	19.22	20%
32.82	21.38	16.48	25%

2- حلقات التجفيف - ترطيب حسب: EN 1170-8

بعد أن وصلت العينات لعمر 28 يوم تم تعريضها لاختبار الديمومة تجاه الطقس المعتمد لعينات GRC حسب EN 1170-8 وهي تعرف بـ Climatic Cycles حيث تم تعريض العينات لـ 25 حلقة تجفيف - ترطيب حيث كانت تجفف بالفرن بدرجة 70°C مدة 24 ساعة ومن ثم تغمر بالماء مدة 24 ساعة، ولكن قبل ذلك تخفف حرارة الفرن حتى 30°C مدة نصف ساعة وبالعكس كما هو موضح بالشكل 6، وبعد انتهاء 25 حلقة تم تعريض العينات لاختبار الشد بالانعطاف حسب EN 1170-5. والنتائج موضحة بالجدول 10 تظهر دور الطمي في تحسين مقاومة حلقات التجفيف - ترطيب ويمكن أن يفسر ذلك ببساطة بسبب روابط C-S-H و C-A-S-H التي أصبحت أكثر غزارة بالعينات المعدلة بالطمي وعافت نفاذية الماء وحسنت المقاومات



الشكل 6: حلقات التجفيف-ترطيب

الجدول 10: نتائج حلقات التجفيف- ترطيب

النسب المئوية لتحسن المقاومات بعد تعريضها لحلقات التجفيف - ترطيب					
25%	20%	15%	10%	0%	
8.95	9.13	9.13	9.50	657.	مقاومات MPa
16.9	19.3	19.30	24.18		نسب التحسن %

رابعاً: تأثير طمي على مقاومة الكبريتات:

تدرس المقاومة الكيميائية لمادة GRC بشكل مشابه للبيتون من خلال غمرها بأوساط كيميائية عدائية، لذلك تم صب مواشير (4*4*16) مم من GRC بنفس التركيب والنسب التي صب منها الألواح، وبعد 24 ساعة تم فك القوالب

$$\text{water absorption} = (M2-M3)/M3*100$$

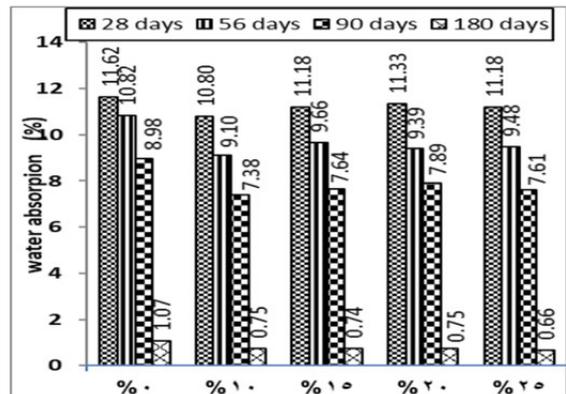
ولتحديد أثر طمي تم مراقبة الامتصاص والمسامية لمدة 180 يوم والنتائج موضحة بالشكل 5 والجدول 8 نلاحظ دور واضح للطي بتقليل الامتصاص والمسامية خصوصاً بأعمار أكبر، وهذا بفضل تشكل C-S-H و C-A-S-H جديدة التي حسنت الاكتنان وشكلت مايشبه غشاء عائق Membrane يقلل نفاذية الماء ويحسن الامتصاص [21] & [32]

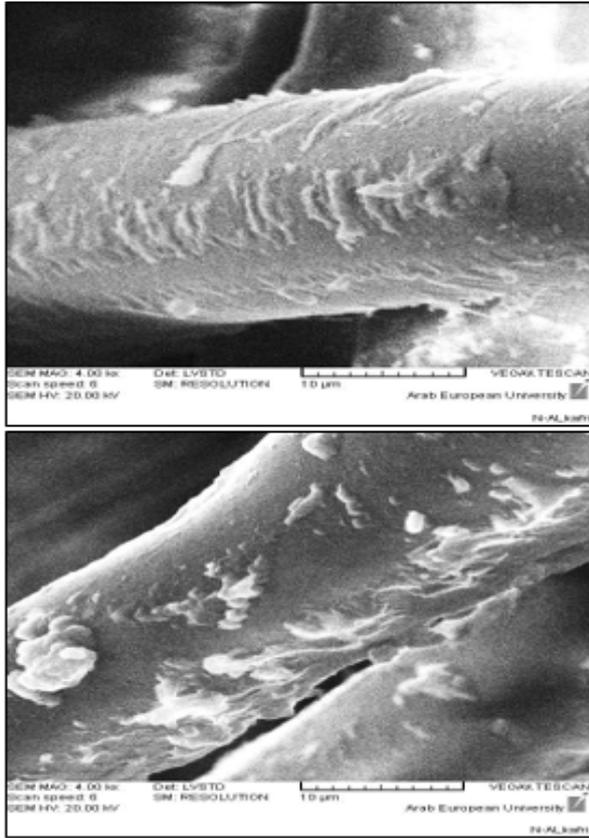
ثالثاً: تأثير طمي على تغير الخصائص الأولية للمادة مع العمر:

لتوقع أداء عنصر GRC والنقص الحاصل لخصائص الشد تحت تأثير عوامل الطقس وهذا ما يعرف بتأثير الزمن على الخصائص الأولية للمادة (Effect of Age on the Initial Property Values) كونها مادة جديدة نوعاً ما بدء استخدامها مع اكتشاف الألياف من نوع AR-Glass في بداية السبعينيات ولم ينتشر حتى الثمانينيات، سيتم تطبيق أسلوبين اعتمدتهما الدراسات المرجعية المهمة بديمومة GRC هما:

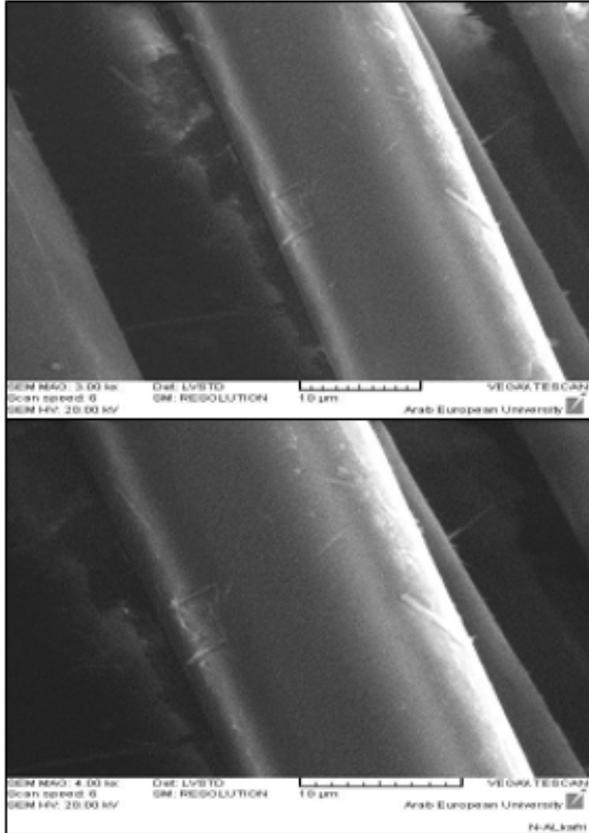
1- الغمر بحمامات الماء الساخن بدرجة 50°C

اعتمدت معظم الدراسات المهمة بديمومة مادة GRC على أسلوب الغمر بالماء الساخن لعينات GRC كونها طريقة معالجة لتسريع الإماهة وهذا ما يعرف بـ GRC Accelerated Aging وبالتالي إمكانية توقع أداء هذه المادة مع الزمن تحت تأثير الأجواء الطبيعية بعد اكتمال الإماهة. حيث يؤكد [28] أن عينات المونة الاسمنتية التي لا تحتوي ألياف كان نقص المقاومات عند غمرها بحمامات الماء الساخن أقل بكثير الحاوية على ألياف زجاجية بسبب تآكل وتلف الألياف نتيجة القلوية العالية الناجمة عن طرح أكبر للبورتلانديت عند تسريع الإماهة بالحرارة، فتخلف ورائها فراغات ونقاط ضعف يتسرب منها الماء والمواد المخربة وبالتالي مقاومة وديمومة أقل. إن تحديد درجة حرارة الغمر ومدته يتعلق بمتوسط درجات الحرارة بالبلد وكثيرة هي الأبحاث التي اهتمت بتحديد درجة حرارة ومدته التي تحاكي الأجواء الطبيعية للبلد، ولكن ويعتبر النموذج الذي وضعه [33] أساسياً ورائداً في هذا المجال وعم استخدام في الكثير من الدراسات المهمة بديمومة GRC حيث قام بغمر عدد كبير جداً من العينات بدرجات حرارة مختلفة حتى 80°C وقارن مع عينات متروكة لعشرات السنين بالأجواء الطبيعية لمدن في بلدان كثيرة حول العالم، فتوصل إلى أن غمر عينات GRC بدرجات حرارة عالية يلائم فقط الأجواء الحارة جداً كالبيئات الاستوائية كونه يحدث هبوط حاد بالمقاومات، أما الغمر بدرجة حرارة 50°C يلائم الكثير من المناخات حول العالم كما يحدث هبوطاً تدريجياً بالمقاومات يحاكي التدهور الحاصل لها بالأجواء الطبيعية، ويفترض النموذج أن غمر عينات GRC بدرجة 50°C مدة 150 يوم يعادل بقائها 50 عام بالأجواء الطبيعية لمناخات عديدة. لذلك تم غمر عينات GRC بعد أن أتمت 28 يوم بحمامات الماء الساخن 50°C مدة 150 يوم ومن ثم إخضاعها لاختبار BS EN 1170-5 بعد وضعها 24 ساعة بالشروط النظامية فور نزعها من الحمام الساخن للتنبؤ بأدائها بعد ما يعادل 50 سنة بالأجواء الطبيعية. يتضح من الجدول 9 الدور البارز للطمي بتحسين أداء المادة مع الزمن، حيث يؤكد [20] & [17] أن روابط C-S-H و C-A-S-H المتشكلة من المواد البوزولانية أقل كثافة من التي يشكلها الكلنكر وتحتاج لوقت لتصبح أكثر تراص وقدرة على منح مقاومات أعلى.



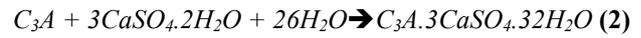
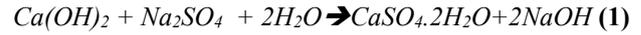


الشكل 8 : صور بالمجهر الالكتروني لألياف من العينة المرجعية

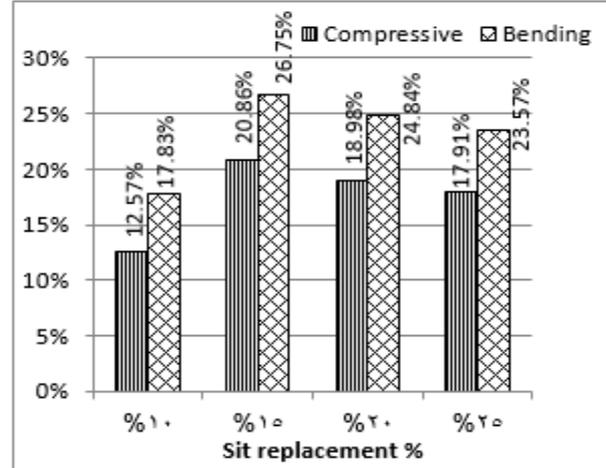


الشكل 9 : صور بالمجهر الالكتروني لألياف من عينة معدلة بالطمي 25%

وحفظ المواشير بالماء إلى أن بلغت العينات عمر 28 يوم، بعدها غمرت بمحلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 بتركيز 5% لمدة 60 يوم، وتم تبديل المحلول كل أسبوعين مرة [43] [17] وذلك لتحديد دور الطمي في زيادة مقاومة الكبريتات كونها معيار أساسي لتقييم أداءه البوزولاني هذا من جهة، ومن جهة أخرى كون مادة GRC تستخدم بشكل كبير كقنوات للصرف أو كواجهات خارجية في بيئات قاسية كالبيئات البحرية، وبكثا الحالتين هي عرضة لهجوم أملاح الكبريتات. يظهر أثر الكبريتات بسبب التمدد الحاصل بالعجينة الاسمنتية بسبب تشكل الجبس السريع الذوبان والذي ينتج من تفاعل البورتلانديت مع الكبريتات وفق المعادلة (1)، والذي يتفاعل بدوره بوجود الماء مع C3A الموجود بالاسمنت ليتشكل الاترنيايت Ettringite وفق المعادلة (2):



يسبب الاترنيايت الناتج تهتك العجينة الاسمنتية والتشققات التي تتغلغل من خلالها الأملاح وبالتالي تنقص الديمومة والمقاومات (ACI 201.2R-01, BS 2001) نسب تحسن المقاومات على الانحناء والضغط المقاسة حسب EN 196-1 للعينات المعدلة بالطمي مقارنة بالعينة المرجعية بعد غمرها بالكبريتات مدة 60 يوم موضحة بالشكل 7. حيث يمكن أن نلاحظ أن العينات المعدلة بالطمي كانت مقاومتها أعلى لهجمات الكبريتات من العينة المرجعية، وذلك بفضل الفعل البوزولاني للطمي باستهلاك كمية أكبر من البورتلانديت وبالتالي التقليل من كمية الجبس المتشكل، أضف لأن حذف نسبة من الاسمنت يعني حذف نسبة من C3A كل ما سبق قلل كمية الاترنيايت المتشكل، هذا بالإضافة لزيادة روابط C-S-H و C-A-S-H التي ملأت الفراغات والمسام وعافت نفاذية الكبريتات [43] و [17] وكان من المتوقع أن نحصل على نسب تحسن أكبر فيما لو أطلنا فترة الغمر.



الشكل 7 : نسب تحسن مقاومات الضغط والانحناء للعينات المغمورة بالكبريتات

- دراسة أثر الطمي مع خلطة GRC على نقاط أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية كخصائص الانكماش أو مقاومة الأحماض والقلويات أو نفاذية الكلوريدات مثلاً.

- أن النتائج التي حصلنا عليها ممكن أن تكون مؤشراً لاستخدام طمي سد بلوران المرمد بصناعة اسمنت بوزولاني محلي مخفض الكلفة وصديق للبيئة، حيث يمكن أن يفتح البحث والتحقيق بهذا الاتجاه.

المصادر:

- [1] ABOUBAKAR, M. and et al., 2014, A Study on the Effect the addition of thermally treated Libyan Natural Pozzolan on the Mechanical 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] ACI Committee 544.5R-10, 2010, Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 35.
- [5] ALAA, R., 2013, Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition. Construction and Building Materials, Vol. 41, 303-318.
- [6] ANASAL, 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] BENTUR, A. and et al., 2006, Durability of Glass Fiber Reinforced Cement with Different Alkali-Resistant Glass Fibers. Journal of the American Ceramic Society, Vol. 68, No. 4, 203 – 208.
- [11] BRAMESHUBER, W. +BROCKMANN, T., 2001, Calcium Aluminate Cement as Binder for Textile Reinforced Concrete. International Conference on

3-3-4 الدراسة المجهرية:

أكدت الدراسة بالمجهر الإلكتروني Scanning Electron Microscopy (SEM) بجهاز من نوع VEGA II Xmu بكاشف طراز LVSTD ما توصلنا له سابقاً بالدور الفعال لظمي بإنقاص البورتلانديت وبالتالي تقليل PH الخلطة ولهذا أهمية خاصة بخلطة GRC الغنية بالاسمنت، حيث نلاحظ من الصور التي أخذت للعينات المسرعة الشيخوخة بالغممر بحمامات الماء الساخن، أن تآكل وتهتك الألياف بالعينة المرجعية - الشكل 8- أعلى بكثير من تآكل وتهتك الألياف بالخلطة المعدلة بالظمي 25% - الشكل 9- حيث تظهر الألياف بالشكل الأخير بوضع أفضل بكثير وأقل تهتكاً وتآكلاً

4- الاستنتاجات والتوصيات:

تم خلال هذه الدراسة تصنيع ألواح GRC والعمل على تحسين ديمومة الألياف فيها بتعديل البنية الداخلية للخلطة باستخدام نسب 10%-15% - 20%- 25% من الطمي المرمد من سد بلوران، ويمكن تلخيص النتائج بالتالي :

- أعطى منتج GRC المصنع بإحضارات محلية واسمنت صناعة وطنية مقومات مقبولة بالنسبة لمنتج مصنع بأسلوب المزج Premix ونسبة S/C=1 ونسبة ألياف 3% وتليي الكثير من الوظائف والاستخدامات.

- الطمي المستخدم مادة بوزولانية حقق ASTM C618 وهو صالح للاستخدام بخلطات الاسمنت البورتلاندي.

- قلل الطمي قابلية تشغيل الخلطة الطرية بشكل بسيط مما اضطرنا لزيادة نسبة المدن قليلاً (من 1% من وزن الاسمنت إلى 1.2%).

- أنقص الميتاكاولين المصنع بترميد طمي سد بلورن مقاومة الشد بالانعطاف بعمر 7 يوم، ولكن عادت وتحسنت مع الوقت، وأصبحت معظمها أعلى من العينة المرجعية من عمر 28 يوم من أجل جميع الاستبدالآت.

- حسن الميتاكاولين المصنع بترميد طمي سد بلورن خصائص الديمومة المدروسة كالتالي:

* تقليل محتوى البورتلانديت بالخلطة وتشكيل C-S-H و C-A-S-H إضافية الذي حدد باعتماد تقنية XRD و EDX الأمر الذي حسن الديمومة والمقاومات مع الوقت.

* تحسين أداء المادة تجاه نقص الخصائص الحاصل مع الزمن، حيث تحسنت مقاومة حلقات التجفيف – ترطيب وكذلك تحسنت مقاومة العينات بعد غمرها بحمامات الماء الساخن 50° C مدة 150 يوم.

* تقليل الامتصاص والمسامية حتى 38% و 41% على التوالي بعمر 180 يوم.

* تحسين مقاومة الكبريتات لحدود 26.75% وكان من المتوقع أن نحصل على تحسن أكبر فيما لو أطلنا فترة الغمر بالكبريتات.

* تقليل تآكل وتهتك الألياف الذي ظهر واضحاً بصور المجهر الالكتروني SEM.

التوصيات:

- إمكانية استخدام الطمي المرمد بصناعة GRC لأغراض تحسين الديمومة والتقليل من استهلاك الاسمنت لما لذلك من أهمية بيئية واقتصادية.

- [28] HUIJUN, W. and et al., 2013, Damage Action of Alkali-resistant Glass Fiber in Cement-based Material. *Journal of Wuhan University of Technology-Material Sciences*, August, 761-765.
- [29] KEPPERT, K. and et al., 2014, Waste ceramics as supplementary material :characterization and utilization. *Transactions on Ecology on The Built Environment*, Vol. 142, 231-239.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] LARA, R. and 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.
- [33] LITHERLAND, K. L. and et al., 1981, The Use Of Accelerated Ageing Procedures To Predict The Long Term Strength Of GFRC Composites. *Materials Research Society*, Vol. 11, 455-466.
- [34] MALAMATENIA, S., 2007, Experimental Study Of Glass Fiber Reinforced Mortar By Variable Percentage Of Fibers With Marble Aggregates. MSc thesis, Kingston University, 55.
- [35] 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.
- [36] MEYER, C. , 2009, The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 31, 601–605.
- [37] MALU, S. and et al., 2013, Characterization of Mbayion Clay for its Industrial Potentials. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, Vol. 4, No. 6, 769-772.
- [38] NPCAA National Precast Concrete Association Australia, 2006, Design, Manufacture and Installation of Glass Reinforced Concrete. 3th ed., TechMedia, 92.
- [39] PELED, A. and et al., 2005, Effect of matrix modification on durability of glass fiber reinforced cement composites. *Materials and Structures*, Vol. 38, No. 2, 163-171.
- [40] PURNELL, P., 2005, Durability and simulated ageing of new matrix glass fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, 75–884.
- Calcium Aluminate Cements (CAC), Edinburgh, Scotland, 659-666.
- [12] CEM-FIL International Ltd., 1998, Cem-FIL GRC Technical Data. Vetrotex, UK, 91.
- [13] CEM-FIL International Ltd., 2009, Guide to Premix Manufacture. Vetrotex, UK, 20.
- [14] CUI, Y. and et al.*, 2008, The influence of component change of raw materials on GRC durability. 15th International GRCA Congress, Beijing, China, 1-10 .
- [16] DEGUTIERREZ, Z. and et al., 2005, Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 27, 593-598.
- [17] DEMIR, I. ‘YAPRAK, H., 2011, Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions. *J Ceramics Silikat*, Vol. 55, No. 3, 268-275.
- [18] EN 1170 parts 1-8 European committee for Stan, 1998, dardization. precast concrete products: test methods for glass-fiber reinforced cement, , Bruxelles.
- [19] ENFEDAQUE, A. and et al., 2010, The effect of silica fume and metakaolin on glass-fibre reinforced concrete ageing. *Materiales de Construcción*, Vol. 6, No.300, 67-82.
- [20] EZZIANE, K. and et al., 2010, Analysis of Mortar Long-Term Strength with Supplementary Cementitious Materials Cured at Different emperature. *ACI Materials Journal*, July-August, 323-331.
- [21] FERNANDEZ, R., 2009, Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries. Ph. D thesis, Lausanne university, 178.
- [22] GENOVES, V. and et al., 2015, Ultrasonic characterization of GRC with high percentage of fly ash substitution. *Ultrasonics*, Vol. 60, 88–95.
- [23] GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association, 2006, Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products. 2nd ed., Blackwater, UK, 12.
- [24] GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association, 2016, Methods of Testing Glassfibre Reinforced Concrete (GRC) Material. Blackwater, UK, 20.
- [25] GUNEYISI, E., 2008, Improving strength, drying shrinkage, and pore structure of concrete using metakaolin. *Materials and Structures*, Vol. 41, 937–94.
- [26] HAREL, S., 2014, Glass Fiber Reinforced Concrete & Its Properties. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, Vol. 3, No. 1, 118-120.
- [27] HO, Y. ‘LEE, C., 2008, Weathering effects on the manufacturing process of GRC. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing*, Vol. 31, No. 2, 241-246.

concrete : effect on physical and mechanical properties. Recycling, Vol. 4, 791-804.

[47] 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.

[48] SHAKOR, P. †PIMPLIKAR, S., 2011, Glass Fibre Reinforced Concrete Use in Construction, International Journal of Technology And Engineering System, Vol. 2, No. 2, 41-48.

[49] SUJIVORAKUL, C. †JATURAPITAKKUL, C., 2011, Effect of Metakaolin and Silica Fume on Bending Properties of Thin Plate Made from Glass Fiber Reinforced Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 23, No. 9, 1281-1288.

[50] TERREZA, M. and et al., 2017, Portland blended cements: demolition ceramic waste management. Materials DE Const., Vol. 67, No. 325, 114-119.

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

[41] PURNELL, P. and et al., 2010, Microstructural in New Matrix Glass Fibre Reinforced Cement. Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 11, 1747-1753.

[42] 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.

[43] 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.

[44] RAFIZA, A. and et al., 2012, Comparison of original and sintered LUSI Mud volcano as Geopolymer Raw Material. Advanced Science Letters, Vol. 19, No. 1, 174-178.

[45] SAFI, B. and et al., 2011, Rheology and zeta potential of cement pastes containing calcined silt and granulated blast-furnace slag. Materiaux de Construction, Vol. 61, No. 303, 353–370.

[46] SAFI, B. and et al., 2012, Use of silt dams as supplementary cementitious material in self-compacting

Effect of calcined silt on the durability of Glass Fiber Reinforced Concrete (GRC)

Susan Tuffaha¹, Ali Khairbek², and Emad Fadel^{3,*}

¹Department of Construction Management Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

²Department of Construction Management Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

³Department of Construction Management Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

* Corresponding author: Susan Tuffaha

Published online: 31 March 2019

Abstract— The aim of this study is improving the durability of Glass Fiber Reinforced Concrete (GRC) and in the context of sustainability applications, reduction of cement consumption, and replacement of it with environmentally friendly materials. This study was conducted to test the role of Metakaolin produced by calcination of silt from Baloran dam in Lattakia on the Syrian coast as supplementary cementing material by 10% -15% -20% - 25% in GRC mixture, and to determine the effect of it on the consistency and flexure strength over 180 days, as well as to test its role in improving the micro-structure of the mixture by reducing the content of Ca(OH)₂ which were tested using X-Ray Diffraction (XRD) techniques, and as a result reduced the erosion of fibers as shown in images by Scanning Electronic Electron Microscopy (SEM). Moreover the role of calcined silt has been studied in controlling the degradation of the material over time which tested by immersion in hot water 50° C for 150 days and by drying – wetting cycles. Also the effect of calcined silt on absorption, porosity and resistance of sulfates attacks was studied. The results have shown that used silt has no negative effect on consistency or mechanical properties, and it improved all the studied durability factors.

Keywords— Durability of glass fiber reinforced concrete, Metakaolin, calcined silt as supplementary cementing material.