

## Effect of waste ceramic tiles on the durability of Glass Fiber Reinforced Concrete (GRC)

Dr. Ali Khairbek \*  
Dr. Emad Fadel \*\*  
Susan Tuffaha \*\*\*

(Received 14 / 6 / 2017. Accepted 26 / 11 / 2017)

### □ ABSTRACT □

With the aim to improve the durability of GRC and in the context of sustainability applications and reduce the consumption of cement and the recycling of demolition waste, which is estimated in millions of tons in Syria due to the war in it. This study was done to test the role of ceramic powder as supplementary cementing material by 10% -15% -20% - 25% in GRC mixture. And determination of the effect of it on the consistency and flexure strength over 180 days, and tested its role in improving the micro-structure of the mixture by reducing the content of the  $\text{Ca(OH)}_2$  which tested using X-Ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) techniques, which reduced the erosion of fibers as shown in images by Scanning Electronic Electron Microscopy (SEM). As well as studied the role of ceramic in controlling the degradation of the material over time experienced by immersion in hot water  $50^\circ$  for 150 days and by drying – wetting cycles, also been studying the effect of ceramic powder on absorption and porosity and Resistance of sulfates attacks. The results showed that ceramic powder has no negative effect on consistency or mechanical properties and improved all the studied durability factors.

**Key words:** Glass fiber reinforced cement – Durability - Pozzolan – Accelerated aging - microstructure - waste ceramics - supplementary cementing material - GRC -  $\text{Ca(OH)}_2$  – SEM - XRD.

---

\* Professor, Department of Engineering and Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Associate Professor, Department of Engineering and Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*\* Postgraduate student, Department of Engineering and Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## أثر مخلفات بلاط السيراميك على ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية GRC

د. علي خيربك\*

د. عماد فاضل\*\*

سوزان تفاع\*\*\*

تاريخ الإيداع 14 / 6 / 2017. قُبِلَ للنشر في 26 / 11 / 2017

### □ ملخص □

بهدف تحسين ديمومة مادة GRC وضمن سياق تطبيقات الاستدامة والتقليل من استهلاك الاسمنت وإعادة تدوير مخلفات الهدم التي أصبحت تقدر بملايين الأطنان في سورية نتيجة الحرب الدائرة فيها. تم القيام بهذه الدراسة لاختبار دور مطحون السيراميك كمستبدل اسمنتي بنسب 10% - 15% - 20% - 25% بخلطات GRC، وتحديد تأثير كل منها على قوام الخلطة ومقاومة الشد بالانعطاف على مدى 180 يوم، وكذلك اختبر دورها في تحسين البنية الداخلية للخلطة من خلال التقليل من محتوى البورتلانديت  $Ca(OH)_2$  وزيادة C-S-H & C-A-S-H gel فيها والذي اختبر باستخدام تقنية X-Ray Diffraction (XRD) وتقنية Energy Dispersive X-Ray (EDX) الأمر الذي قلل بدوره من تهتك الألياف كما أظهرت الصور بالمجهر الالكتروني Scanning Electron Microscopy (SEM) وكذلك درس دور مطحون السيراميك في السيطرة على التدهور الحاصل للمادة بمرور الزمن والذي اختبر من خلال الغمر بالماء الساخن بدرجة 50 ° مدة 150 يوم وبحلقات التجفيف - ترطيب، وتم أيضاً دراسة أثر مطحون السيراميك على الامتصاص والمسامية ومقاومة هجمات الكبريتات. أظهرت النتائج أنه ليس لمطحون السيراميك أثر سلبي يذكر على قوام الخلطة أو على الخصائص الميكانيكية وتحسنت جميع عوامل الديمومة المدروسة.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية - الديمومة - ميتاكاولن - الاضافات البوزولانية -

مطحون السيراميك كمستبدل اسمنتي

\* أستاذ - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ مساعد - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالبة دكتوراه - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة:

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 ( $ZrO_2$ ) <16% مما يجعل منها مقاومة للأوساط الاسمنتية عالية القلوية (Harel , 2014) & (Cui , 2008) حيث تلعب الألياف دور مقاومة قوى الشد ومقاومة التشققات التي لا تمتلكها بشكل كافي الخلطة بسبب طبيعتها الهشة (Brittle) بالإضافة إلى زيادة التماسك وتقليل نفاذية الماء والأملاح الأمر الذي يزيد الديمومة (Malamatenia , 2007).

تصنع مادة GRC باستخدام إما أسلوب الرش Spray أو المزج Premix وتستخدم لأغراض التشييد السريع وأعمال الأكساء الداخلي والخارجي للمباني أو خزانات وقنوات للري والصرف وفي أعمال الترميم فوق مبنى أساساته غير معدة لتحمل حمولات إضافية وفي مجالات أخرى كثيرة، باعتبارها مادة سهلة القلوية يمكن تصنيع أشكال مختلفة منها وقابلة للفك والتركيب بسهولة، كما أنها خفيفة الوزن كونها تصنع بمقاطع نحيلة من مرتبة ميليمترات بالإضافة لخصائصها الميكانيكية العالية (Shakor , 2011). 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 عند استخدام ألياف من نوع AR-glass التي تكون معدة لتحمل القلوية، بل ببنية الخلطة ومحتواها القلوي المتعلق بشكل أساسي بكمية هيدروكسيد الكالسيوم  $Ca(OH)_2$  وهو ما يعرف بالبورتلانديت الذي ينتج من عملية إماهة الاسمنت (Cui , 2008) & (Bentur , 2006) & (Huijun , 2013) حيث يوصف (ACI 544.5 R-10, 2010) آلية تخريب الألياف الزجاجية ضمن بيئة قلوية قاسية كالوسط الاسمنتي:

1- آلية تخريب كيميائي بسبب أيون  $OH^-$  المتحرر من هيدروكسيد الكالسيوم الذي يخرب بنية الليف ويضعف سطح الألياف -2- آلية تخريب ميكانيكي بسبب بلورات هيدروكسيد الكالسيوم التي تسبب قوى ضغط وقص على الألياف تؤدي لتفكها ويظهر هذا النوع من التخريب 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 خلطات GRC أنواع اسمنت منخفضة القلوية من نوع calcium sulfo-aluminate مثل (Cui , 2008\*) & (Purnell , 2010) أو من نوع calcium aluminate cement مثل (Bramshuber , 2001) وأعطى استخدام هذه الأنواع نتائج أفضل من البورتلاندي العادي تجاه تحسين ديمومة GRC لكن يوجد لها سلبيات فكلية تصنيعها أعلى ونتاجها يكون أقل من البورتلاندي العادي.

لذلك تركز الاهتمام باتجاه استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المتوافر دوماً وتعديل خلطته إما باستخدام البوليمرات الاكريليكية التي تعمل على تشكيل غلاف يحمي سطح الألياف مثل (Purnell , 2005) أو باستخدام إضافات بوزلوانية كخبث الأفران Slag مثل (Peled , 2005) أو الرماد المتطاير Fly Ash مثل (Genoves , 2015) أو كهباب السيليس silica fume مثل (Enfedaque , 2010)، هذا بالإضافة لاستخدام الميكاكاولن  $Al_2Si_2O_7$  ويسمى أحياناً الصلصال الصيني ويتشكل من تعريض الكاولين الموجود بالطين لدرجات حرارة  $650^\circ - 950^\circ$  الأمر الذي يحطم البنية البلورية للمنرات الموجودة فيه Crystalline structure ويحولها لبنية غير متبلورة

Amorphous وبهذه البنية يستطيع أن يلعب دوراً بوزولانياً فعالاً باستهلاك كمية أكبر من  $Ca(OH)_2$  وتشكيل روابط جديدة (C-A-S-H & C-S-H) gel التي تسد المسامات وتملأ الفراغات وبالتالي مقاومة وديمومة أعلى (Rabehi , 2012) & (ACI 232.1 R , 2001).

أعطى استخدام الميكاكولن 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 الميكاكولن مع GRC عند (De Gutierrez , 2005) نتائج أفضل من العينات المعدلة بهباب السيليس أو بالرماد المتطاير، وأيضاً عند (Enfedaque , 2010) كان لاستخدام 10% من الميكاكولن أثر واضح في تحسين مقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC بعد غمرها بحمامات الماء الساخن 50° كما قلل من تشقق الأسطح وتهتك الألياف كما أوضحت الدراسة المجهرية وبشكل أفضل من العينات المعدلة بهباب السيليس 20% ، وجرب (Sujivorakul , 2011) تأثير حتى 20% من الميكاكولن على الامتصاص وخصائص الشد بالانعطاف لألواح GRC بعد غمرها بحمامات الماء الساخن بدرجة 50° فكانت النتائج أفضل من العينة المرجعية (Control) ومن العينات المعدلة بهباب السيليس، وعند (Cui , 2008) قلل استخدام 20% ميكاكولن محتوى هيدروكسيد الكالسيوم بخلطة GRC وبشكل أفضل من العينات المعدلة 50% بخبث الأفران.

بالرغم من النتائج الممتازة التي أعطاها استخدام الميكاكولن كمستبدل اسمنتي بخلطات GRC تجاه تحسين الديمومة إلا أن عبء وتكلفة تصنيعه وقفت عائقاً أمام استخدامه بشكل واسع في صناعة GRC (Enfedaque , 2010) لذلك ممكن أن يكون مطحون السيراميك المأخوذ من مخلفات الهدم أو مخلفات المعامل بديل جيداً عنه وبكلفة أقل منه ومن مواد بوزولانية أخرى، حيث أكدت جميع الدراسات أن فعالية أداء الميكاكولن تتوقف على جودة الطين ومحتواه من السيليس والألومينا غير المتبلورة، ومن المعروف أن السيراميك يصنع من أجود أنواع الأطنان الحاوية على كميات كبيرة من السيليس والألومينا والتي تتعرض للشي بدرجات حرارة عالية أثناء عملية التصنيع، الأمر الذي يحطم البنية الكرسالية لمنرالاتها ويمنحها خصائص بوزولانية جيدة (Puertas , 2008) & (Lavati , 2009) والدراسات حول استخدام مخلفات المواد السيراميك بخلطات GRC محدودة منها (Haili , 2015) الذي وجد تحسن بمقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC المعدلة بالسيراميك بعد غمرها بحمامات الماء الساخن بدرجة 50°، وعند (Haili , 2014) قل تهتك الألياف بسبب نقص محتوى البورتلانديت بالخلطة، وعند (Pastor , 2011) تحسنت مقاومة ألواح GRC لحلقات التجفيف - ترطيب بحسب EN 1170-8 كما قلت المسامية الأمر الذي قلل من نفاذية المواد المخربة وتغير اللون والشكل.

وتبقى الأبحاث حول استخدام مطحون مخلفات السيراميك كمستبدل اسمنتي مع خلطات الملاط أو البيتون أوسع وأكثر تنوعاً ويمكن الاستفادة من نتائجها أيضاً، فعند (Schackow , 2015) قلل استخدامه الامتصاص وزادت المقامات بعمر 90 يوم كما تحسنت مقاومة الكبريتات وقل عمق اختراق الكبريت، وعند (Bignozzi , 2011) قلل استخدامه من صدأ الألياف الفولاذية عند الغمر بالأملاح كونه حسن البنية الداخلية للخلطة بزيادة C-S-H، كما قلل استخدامه التفاعل القلوي للحصويات عند (Maria , 2012) كما أعطى استخدام مخلفات السيراميك نتائج أفضل من مخلفات أخرى كمخلفات البيتون أو البلوك أو الجبس عند (Jimenez , 2013)، ولما جرب (Lavati , 2009) عدة أنواع من مخلفات السيراميك فوجد أن جميعها أنقصت من محتوى البورتلانديت بالخلطة حسب نتائج التحليل بالأشعة السينية XRD ، وكذلك عند (Mas , 2015) تحسنت البنية الداخلية بزيادة روابط C-S-H ونقص محتوى البورتلانديت حسب نتائج XRD والدراسة المجهرية SEM، كما أعطى استخدامه لحدود 20% نتائج مقبولة مع

البيتون عالي الأداء عند (Scheinherroval , 2015)، وعند (Torgal , 2010) قل الامتصاص و نفاذية الكلوريدات و نفاذية الأوكسجين وزادت مقاومة حلقات التجفيف - ترطيب ومقاومة حلقات التجميد-تذويب. ويجدر بالذكر أن استخدام مخلفات السيراميك ليس فقط كمستبدل اسمنتي وإنما كمستبدل من الحصويات للحصول على بيتون بوزن أخف وزناً وأقل كلفة (Daniyal , 2015) & (Shashivar , 2016) ولكن يعيب هذا النوع من الاستبدال بالاضافة لإنقاص المقاومات زيادة الامتصاص.

بمعظم الدراسات المذكورة سابقاً حسن استخدام مخلفات السيراميك خصائص الديمومة بشكل عام، ولكن كانت نقل 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، الأمر الذي جعل من استخدام مخلفات السيراميك محدود عملياً بالرغم من النتائج البحثية الجيدة تجاه تحسين خصائص الديمومة، ولكن التوجهات الحديثة بالتصميم تركز على موضوع الديمومة فمن غير المجدي تصميم عنصر بمقاومة عالية بخلطة لا تتمتع بديمومة جيدة خصوصاً عندما تكون عرضة لأوساط عدائية (ACI 201.2 R-01 , 2001). ومن هنا تبرز أهمية تحديد النسب المناسبة للاستبدال من الاضافة المستخدمة والتي تتعلق بطبيعة المادة المستخدمة وتركيبها الكيميائية والمنزلية، هذه النسبة التي تضمن تحقق متطلبات الديمومة وتبقى فيها المقاومة ضمن الحدود المقبولة، لذلك وحسب ما تم استنتاجه من الدراسة المرجعية يمكن اعتبار أن استبدال من الاسمنت لحدود 25% من مطحون السيراميك له أثر طفيف على المقاومات والتشوهات، فلما درس (Tydlitat, 2012) أثر مطحون السيراميك على مراحل الاماهة وجد أن الاستبدال لأكثر من 25% سيقال المقاومات أكثر بسبب النقص غير المبرر بكمية  $C_3S$  الناتج عن حذف نسبة من الاسمنت، وينسب أعلى من ذلك لن يؤدي فيها السيراميك عملاً بوزولانياً فعالاً وسيلعب دور فلر Filler وهذا ما أكده أيضاً (Scheinherroval , 2015) & (Terreza , 2017).

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 الارصفة 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 (Ezziane , 2010) أن المواد البوزولانية تتهدج بحرارة أقل من الكلنكر الأمر الذي يساهم بتخفيض حرارة الخلطة ويجعلها تلعب دور براد داخلي فيها.

كما أن استخدام مخلفات السيراميك كمستبدل اسمنتي يساهم بالتقليل من استهلاك الاسمنت الذي أسعاره بتزايد مستمر، أضف لأن حوالي 15% من إجمالي الانتاج في صناعة السيراميك يهدر كمخلفات وأيضاً 30% من مخلفات الهدم هي مواد قرميد وسيراميك (Raval , 2013) فمن المجدي إعادة تدويرها، أعطى استبدال 30% من الاسمن بمطحون السيراميك عند (Amitkumar , 2013) و فرأ بمقدار 12.67% من كلفة المتر المكعب لبيتون بمقاومة ضغط  $f_c = 20 \text{ Mpa}$ . هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن التقليل من استخدام الاسمنت يعني التقليل من التلوث الناتج عن تصنيعه، حيث تتربع صناعة الاسمنت بالمراتب الاولى بين الصناعات المسببة للتلوث حول العالم، حيث يؤكد (Malhotra , 2000) & (Meyer , 2009) أن انتاج طن من الاسمنت يسبب انبعاث طن من غاز  $CO_2$ ، وحيث يقدر الانتاج السنوي للاسمنت بالعالم (1.6 - 2) بليون طن، فهذا يعني أن صناعة الاسمنت تتسبب سنوياً

بانبيعات حوالي 2 بليون طن من غاز CO<sub>2</sub> وهذا يعادل تقريباً 7% من إجمالي انبعاث الكربون بالعالم سنوياً. كما ويؤكد (Terreza , 2017) أن استبدال حتى 25% من الاسمنت بمخلفات المواد السيراميكية يعطينا مقومات مقبولة وينقص كمية CO<sub>2</sub> بمقدار 3.8\*10<sup>8</sup> طن بالسنة.

### أهمية البحث وأهدافه:

- 1- تحسين ديمومة مادة GRC والتي تعتبر المشكلة الأكبر التي تواجهها خصوصاً كونها مادة يمكن اعتبارها جديدة على صناعة التشييد في سورية، ومنتظر 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 مع الزمن.
- 2- الاستخدام المجدي للكميات الهائلة من مخلفات السيراميك التي خلفتها الحرب في سورية كإضافات بوزولانية كبديل جيد وأقل كلفة من الإضافات المستوردة دون التطرق لتقنيات الفرز فهذا محور بحث آخر.
- 3- تصنيع منتج GRC وفق أسس علمية متفق عليها بهذه الصناعة ومقبولة عالمياً وبإحضارات محلية واسمنت وطني والتحقق من تأثير استخدام مخلفات السيراميك على خصائص ومواصفات المادة.
- 4- دعم التحقيقات حول استخدام مخلفات السيراميك 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.
- 5- توسيع نطاق البحث في مجال تطبيقات الاستدامة والتي تعتبر مواضيع الساعة، وذلك من خلال التقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، خاصة كون أن خلطة GRC غنية بالاسمنت بالإضافة لأهمية ذلك من ناحية اقتصادية.

### منهجية البحث:

تم إجراء الاختبارات اللازمة للبحث بمخابر ( كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين - معمل اسمنت طرطوس - الهيئة العامة للطاقة الذرية بدمشق/ مخابر يعفور - المعهد العالي للبحوث العلمية والتكنولوجية بدمشق/ مخابر المزة).

### توصيف مواد البحث:

**الاسمنت (PC):** الاسمنت المستخدم بورتلاندي نوع 1 تصنيع معمل اسمنت طرطوس صنف 32.5 محقق للمواصفة القياسية السورية (1985/332).

**الرمل:** تم استخدام رمل طبيعي سيليسي Silica sand أبيض اللون من منطقة القريتين بالمواصفات التالية: ( معامل النعومة = 1.6 > 2 والرمل ناعم جداً - مكافئ رملي = 83.32 % < 80% والرمل نظيف). ويوصى أن يكون الرمل المستخدم بخلطات GRC حسب (GFRCA , 2006) & (Cem-FIL , 1998) سيليسي وأن يكون المار من منخل 2.4 مم 100% عند اعتماد أسلوب الدمج Premix بالتصنيع. كما يوصى أن يكون المار من منخل 150ميكرون  $\geq 10\%$  ( $6.7\% > 10\%$ ) وهذا محقق بالرمل المستخدم. التركيب الكيميائي للرمل موضح بالجدول (1) والتدرج الحبي بالشكل (1).

**مطحون السيراميك ( CE ):** تم غسل كمية من سيراميك الأرضيات المزجج أبيض اللون تم أخذه من مخلفات هدم، ثم تجفيفها 24 ساعة بدرجة 105 ° ومن ثم تم تكسيروها وطحنها بمطحنة تحتوي كرات معدنية متعددة الحجم

وزنها الاجمالي 12635 غ مدة 50 دقيقة للحصول على مطحون بنعومة سطح بلين = 4200 سم<sup>2</sup>/غ ، فالنعومة بهذه الحدود قريبة من نعومة الاسمنت ومعتمدة بالدراسات المرجعية. التركيب الكيميائي موضح بالجدول (1) والتدرج الحبي بالشكل (1).

الجدول (1) التركيب الكيميائي للاسمنت والرمل والسيراميك

مقاس باستخدام ( XRF ) X-ray Fluorescence

%	PC	CE	Sand
SiO <sub>2</sub>	22.74	68.5	97.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	14.02	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.51	1.2	0.4
CaO	63.41	5.89	0.56
MgO	2.97	3.62	0.1
SO <sub>3</sub>	1.45	0.85	-
L.O.I	1	2.3	0.33
الكثافة Gr/cm <sup>3</sup>	3.15	2.56	2.68

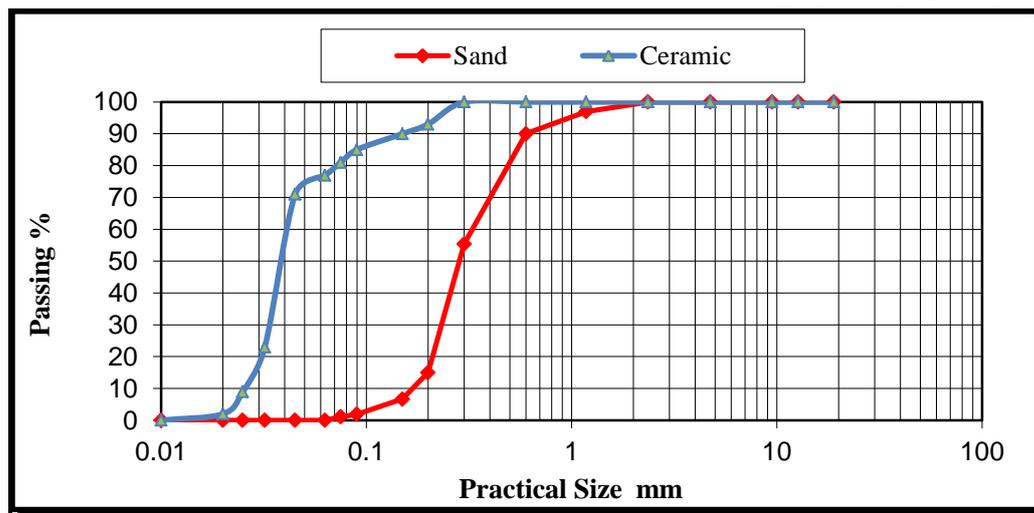


مطحون السيراميك (CE)

حتى يكون مطحون السيراميك (CE) مادة بوزولانية صالحة للاستخدام كمستبدل اسمنتي بخلطات الاسمنت البورتلاندي يجب أن يحقق المواصفة ASTM C 618 Type N كما هو موضح بالجدول (2)، بملاحظة الجدول المذكور نجد أن مطحون السيراميك المستخدم يحققها ويصلح كمادة بوزولانية:

\* GRCA أو Glass Reinforced Cement Association GFRCA وهي الرابطة العالمية لصناعة GRC والتي

تتضمن عضوية أكثر من 20 دولة رائدة بهذا المجال: [www.grca.co.uk](http://www.grca.co.uk)



الشكل (1) التدرج الحبي للرمل ومطحون السيراميك

الجدول (2) التحقق من التوافق مع ASTM C618

الاشتراطات	CE	ASTM C618	
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> محتوى الأكاسيد (%)	83.72	70% min	OK
SO <sub>3</sub> محتوى الكبريتات (%)	0.85	4% max	OK
L.O.I الفاقد بالحرق (%)	2.3	10% max	OK
45μ النعومة بقياس المتبقي على المنخل	29	34% max	OK
(%) معامل الفعالية** عند 28 يوم	102	75% min	OK

\*\*معامل الفعالية: وقيس حسب ASTM C618 ويمثل قيمة مقاومة الضغط للعينه المعدلة 20% بالسيراميك مقسومة على مقاومة الضغط للعينه المرجعية ولكن الرمل المستخدم للحسابات هنا هو الرمل النظامي المخبري.

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

الجدول (3) خصائص الملدن

الشكل	سائل لزج
اللون	بني
الوزن النوعي	1.06
محتوى أيون الكلوريد	-
PH	6.6

الجدول (4) خصائص الألياف الزجاجية

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

**الألياف الزجاجية:** محققة لخصائص الألياف الزجاجية المستخدمة بالخلطات الاسمنتية وهي من تصنيع شركة (NEG (Nippon Electric Glass العالمية ولها الخصائص الموضحة بالجدول (4).

**2-3 طريقة الخلط والمعالجة:** بعد الاطلاع على تقنيات تصنيع GRC وكميات ونسب الخلط المناسبة حسب: (Cem-FIL , 1998) & (GFRCA , 2006) & (NPCAA , 2006) & (Cem-FIL , 2009) والعودة لأصحاب الخبرة بهذه الصناعة، تم اعتماد أسلوب الخلط Premix GRC لتصنيع ألواح من GRC باعتماد نسبة ألياف 3% من إجمالي وزن الخلطة & S/C=1 & W/C=0.33 وهي تعتبر نسب مناسبة مع هذا الأسلوب من التصنيع. والكميات اللازمة لتصنيع لوح واحد موضحة بالجدول (5) من أجل استبدالات 10%- 15%- 20%- 25% من وزن الاسمنت بمطحون السيراميك. فبعد 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 (65\*30\*1)سم بمادة عازلة - الشكل (2)- تم وضع الخليط على طاولة هزازة - الشكل (3)- لضمان ملئه بشكل انسيابي وطرده فقاعات الهواء وتغلغل جيد للألياف ثم تم تسوية السطح بالمالج للحصول على وجه أملس.



الشكل (3) وضع الخليط على منضدة هزازة

الشكل (2) دهن القوالب بالمادة العازلة

الجدول (5) نسب وكميات الخلط اللازمة لصب لوح واحد

	0%	10%	15%	20%	25%
Sand (gr)	2100	2100	2100	2100	2100
Cement (gr)	2100	1890	1785	1680	1575
Water (gr)	700	700	700	700	700
W/C	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
S/c	1	1	1	1	1
Fiber (gr)	150	150	150	150	150
S.P (gr)	21	21	21	21	21
CE (gr)	0	210	315	420	525
Dry bulk density (kg/m <sup>3</sup> ) for GRC	1939	1904	1867	1805	1768

**المعالجة Curing:** تم تغطية الألواح وهي بالقوالب بالبوليثين Polythene مدة 24 ساعة للحفاظ على الرطوبة، ثم فكت القوالب وحفظت الألواح برطوبة 90-95% مدة 28 يوم، بعدها نشرت عينات من هذه الألواح - الشكل (4)-



الشكل (4) العينات بعد نشرها من الألواح



الشكل (5) اختبار القوام حسب EN 1170-1

## النتائج والمناقشة:

### 1- تأثير مطحون السيراميك على قابلية تشغيل الخلطة:

تم اعتماد EN 1170-1 - الشكل (5) - المستخدم لقياس قابلية تشغيل خلطات GRC من خلال تحديد قطر الانتشار لاسطوانة تم تصميمها لهذا الغرض قطرها الداخلي 57 مم بارتفاع 55 مم. كما ويحدد ASTM C 618 أن لا يتجاوز تأثير الإضافة البوزولانية المستخدمة على قطر الانتشار  $\pm 5$  مقارنة بالعينة مرجعية (Control). تعتبر جميع النسب الموضحة بالجدول (6) محققة للمواصفتين ولم يلحظ تأثير يذكر لمطحون السيراميك على القوام.

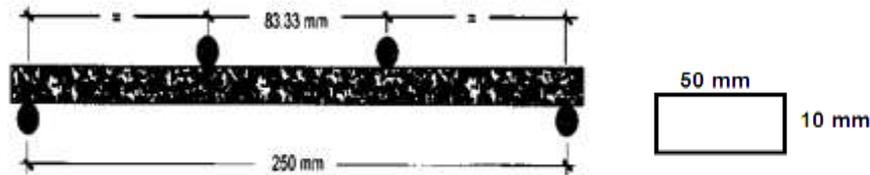
الجدول (6) قيم قطر الانتشار

CE %	0%	10%	15%	20%	25%
Flow (mm)	175	179	177	175	173
Flow Control $\pm 5\% = (166.25 - 183.75)$ mm	-	OK	OK	OK	OK

### 2-3 تأثير مطحون السيراميك على مقاومة الشد بالانعطاف:

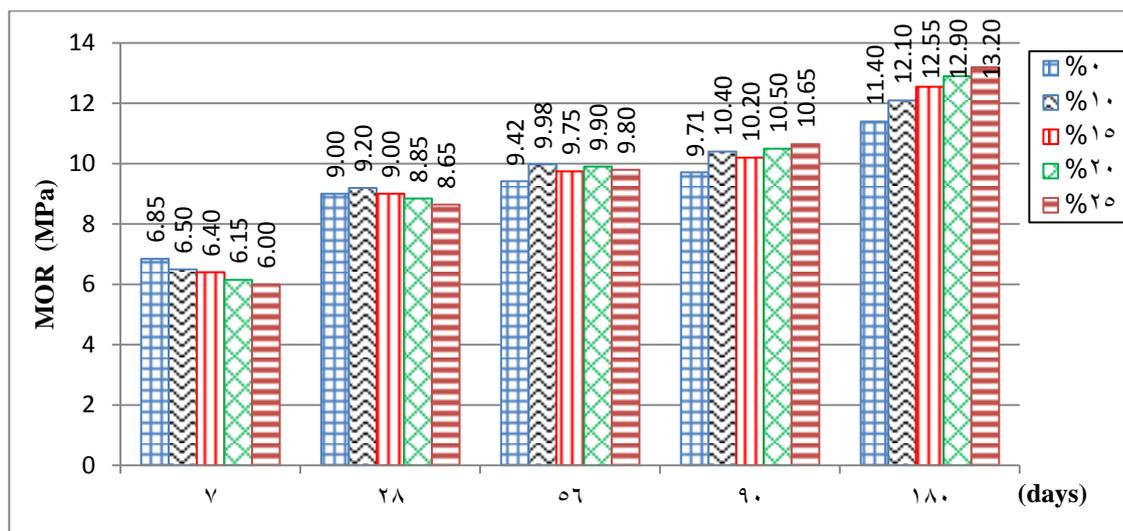
لتحديد أثر مطحون السيراميك على الخصائص الميكانيكية للمادة تم قياس مقاومة الانحناء أو الشد بالانعطاف Flexure Strength ومراقبتها على مدى 180 يوم، كونها المعيار التصميمي الأهم لتقييم جودة عنصر نحيل كعناصر GRC، كما أن نجاح عينات GRC بعمر 28 يوم بهذا الاختبار يعكس بنسبة 95% نجاحها باجتياز باقي المقاومات (NPCAA , 2006) & (GFRCA , 2016).

تم اعتماد EN 1170-5 الموضح بالشكل (6) والمعتمد لقياس مقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC بأخذ قيمة وسطية لكسر 3 عينات بسرعة تطبيق حمولة 1.5م/دقيقة، ومن ثم تم تحديد ما يعرف بدراسات GRC بحد الانهيار على الانحناء Modulus Of Rupture (MOR) وهو الاجهاد المقابل للحمولة المسببة للانهيار باعتبار أبعاد المقطع العرضي للعينات (10\*50)مم. النتائج موضحة بالشكل (7) وتعتبر جميع المقاومات الناتجة بعمر 28 يوم مقبولة تصميمياً وملبية لكثير من الوظائف بالنسبة لعنصر مصنع بطريقة Premix وبالنسب والكميات المستخدمة



الشكل (6) اختبار الشد بالانعطاف حسب EN 1170-5

يتضح من الجدول (7) والشكل (7) إن استخدام السيراميك أنقص المقاومة بعمر 7 يوم من أجل جميع الاستبدالات كون أن إماهة المواد البوزولانية أبطأ من إماهة الكنكر ولايزال الفعل البوزولاني غير فعال كفاية بهذا العمر لتعويض النقص الحاصل بروابط C-S-H الناتج عن حذف كمية من  $C_3S$  وهذا المسؤول بشكل أساسي عن إنقاص المقاومات بأعمار مبكرة، ولكن مع الوقت يزداد تأثير الفعل البوزولاني باستهلاك البورتلانديت وتشكيل روابط C-A-S-H & C-S-H جديدة (Ezziane, 2010) & (Rocha, 2013)، لذلك عادت وتحسنت مقاومات العينات الحاوية على سيراميك عند عمر 28 يوم واستمر ذلك لتصبح أعلى من العينة مرجعية اعتباراً من عمر 56 يوم من أجل جميع الاستبدالات.



الشكل (7) تطور مقاومة الشد بالانعطاف لجميع الخلطات خلال 180 يوم

الجدول (7) النسب المئوية لتحسن مقاومات الشد بالانعطاف

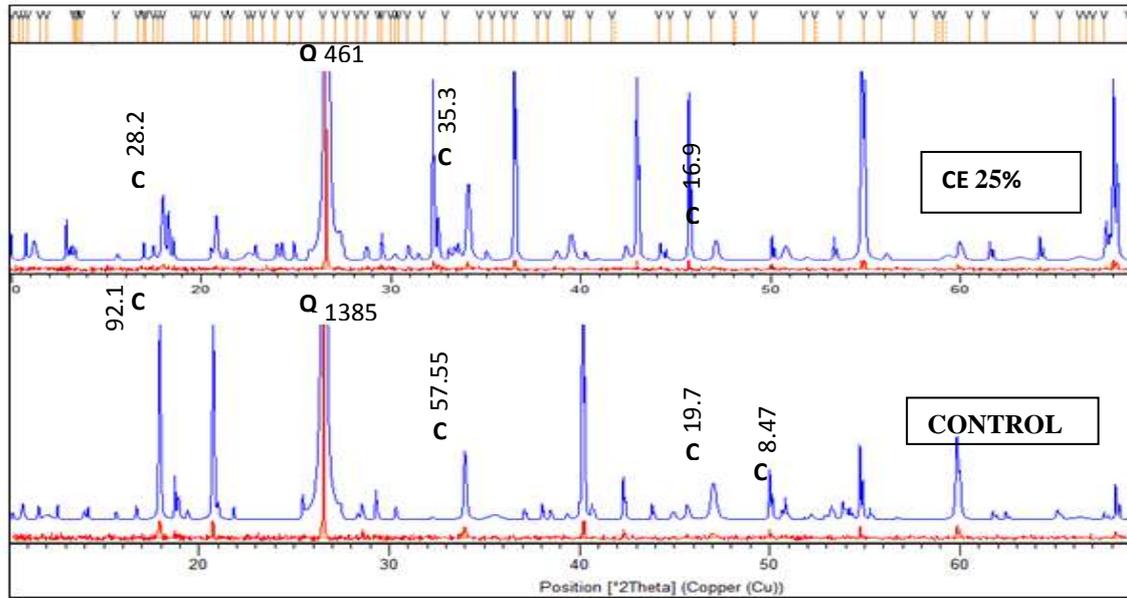
النسب المئوية لتحسن المقاومات مقارنة بالعينة مرجعية				
25%	20%	15%	10%	CE%
-12.41	-10.22	-6.57	-5.11	7 day
-3.89	-1.67	0.00	2.22	28 day
4.09	5.15	3.56	5.95	56 day
9.67	8.12	5.04	7.10	90 day
15.79	13.16	10.1	6.14	180day

### 3-3 تأثير مطحون السيراميك على خصائص الديمومة:

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

أولاً: تأثير مطحون السيراميك على محتوى البورتلانديت و C-S-H & C-A-S-H gel:

إن نقص محتوى  $Ca(OH)_2$  سبب أساسي لتحسين ديمومة GRC ومؤشر لتقييم الأداء البوزولاني لمطحون السيراميك، وللمقارنة تم إجراء تحليل منرالي للعينة المرجعية ومقارنته بالعينة المعدلة بالسيراميك 25%، باعتماد تقنية انعراج الأشعة السينية (XRD) X-Ray Diffraction بجهاز من نوع Philips بسرعة مسح 0.02°/sce



الشكل (8) التحليل المنرالي XRD للعينة المرجعية المعدلة بالسيراميك 25% بعمر 360 يوم (Q = Quartz , C = Ca(OH)<sub>2</sub>)

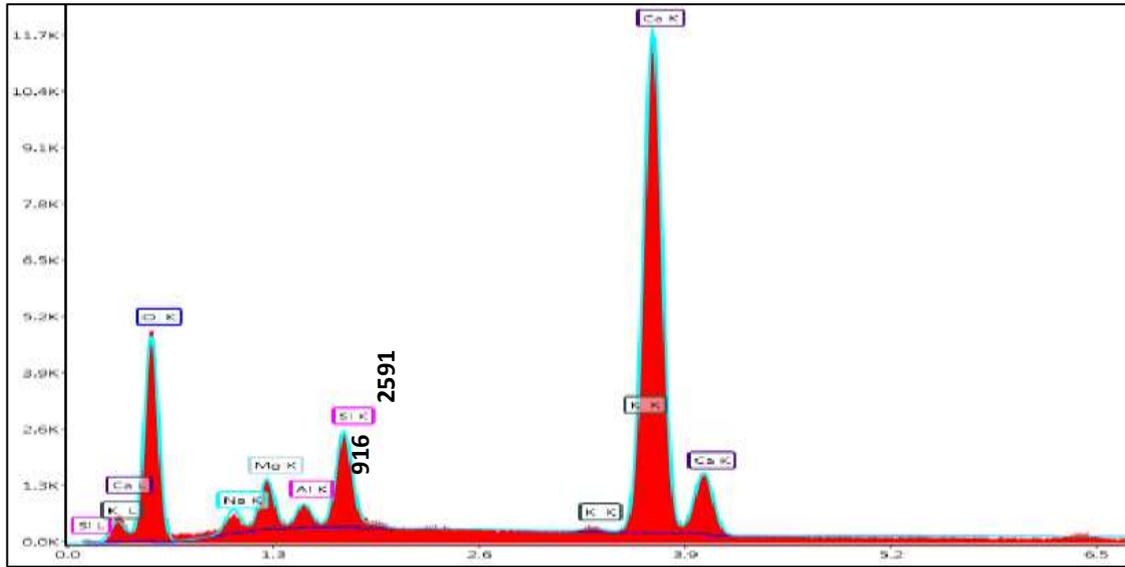
\*\* تم عمل تكبير ZOOM للمخطط وذلك لتوضيح قراءته مما سبب حذف جزء من الذروة للكوارتز عند  $2\theta = 26.5^\circ$  ولكن القيمة موضحة على الرسم

تم تحليل النتائج باستخدام برنامج X'Pert HighScore Plus system والنتائج موضحة بالشكل (8) حيث نجد بالعينة المعدلة بالسيراميك ظهور ذرى Peaks لمركبات إضافية تعود لتركيب السيراميك 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 بالسيراميك 25% من أجل جميع الذرى هذا يدل على استهلاك مطحون السيراميك للبورتلانديت، حيث بلغ النقص أوجه عند  $2\theta = 18^\circ$  حيث قلت الشدة من (92.1 count) إلى (28.2 count) وأيضاً عند  $2\theta = 34^\circ$  حيث قلت الشدة من (57.55 count) إلى (35.3 count) وبالحقيقة هاتان الزاويتان أهم الزوايا التي يلاحظ عندها  $\text{Ca(OH)}_2$  (Fernandez , 2009).

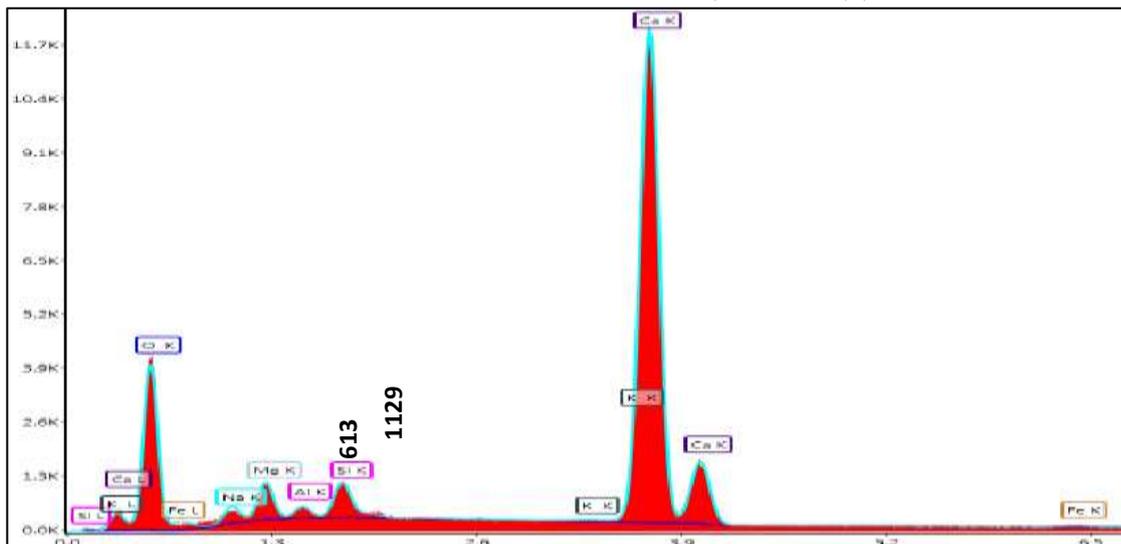
تعتبر زيادة روابط C-A-S-H & C-S-H gel مؤشر لزيادة الديمومة كونها تتمتع بطبيعة هلامية كارهة للماء تملأ الفراغات وتمنع نفاذية الماء والمواد الضارة وبالتالي تحسن المقامات والديمومة، وكلما كانت المنرالات الطينية المكونة للسيراميك كرسالية قلت فعاليتها بتشكيل هذه الروابط وتلعب بهذه الحالة دور الفلر (Keppert , 2014).

بالرغم من أن المحتوى الإجمالي لذرات AL & Si مقاساً باستخدام تقنية تشتت طاقة الأشعة السينية Energy Dispersive X-Ray (EDX) بجهاز من نوع EDAX بالعينة المعدلة بالسيراميك 25% هي على التوالي 916 & 2591 count/sec - الشكل (9) - أعلى منها للعينة مرجعية 613 & 1129 count/sec - الشكل (10) - وهذا طبيعي بسبب احتواء السيراميك المستخدم على نسبة عالية من السيليس والألومينا، ولكن بالمقارنة مع نتائج XRD بالشكل (8) وتتبع قيم الذرى للكوارتز Quartz (يعبر عن المنرالات المتبلورة) عند أهم زاوية له ( $2\theta = 26.5^\circ$ ) نجد الشدة بالعينة المعدلة بالسيراميك (461count) مقارنة بالعينة مرجعية (1385 count)، وبالتالي يمكن أن نستنتج ببساطة أن معظم منرالات السيراميك لم تظهر بشكل كوورتز وإنما هي غير متبلورة Amorphous بشكل أكاسيد قادرة على

الاتحاد بالبورتلانديت وتشكيل C-A-S-H & C-S-H إضافية وجعلها أكثر غزارة بالعينات الحاوية على السيراميك وهذا ما ساعد على تحسن المقاومات والديمومة (Scheinrroval , 2015) & (Keppert , 2014) .



الشكل (9) المحتوى الذري للعينة المعدلة بالسيراميك 25% حسب EDX

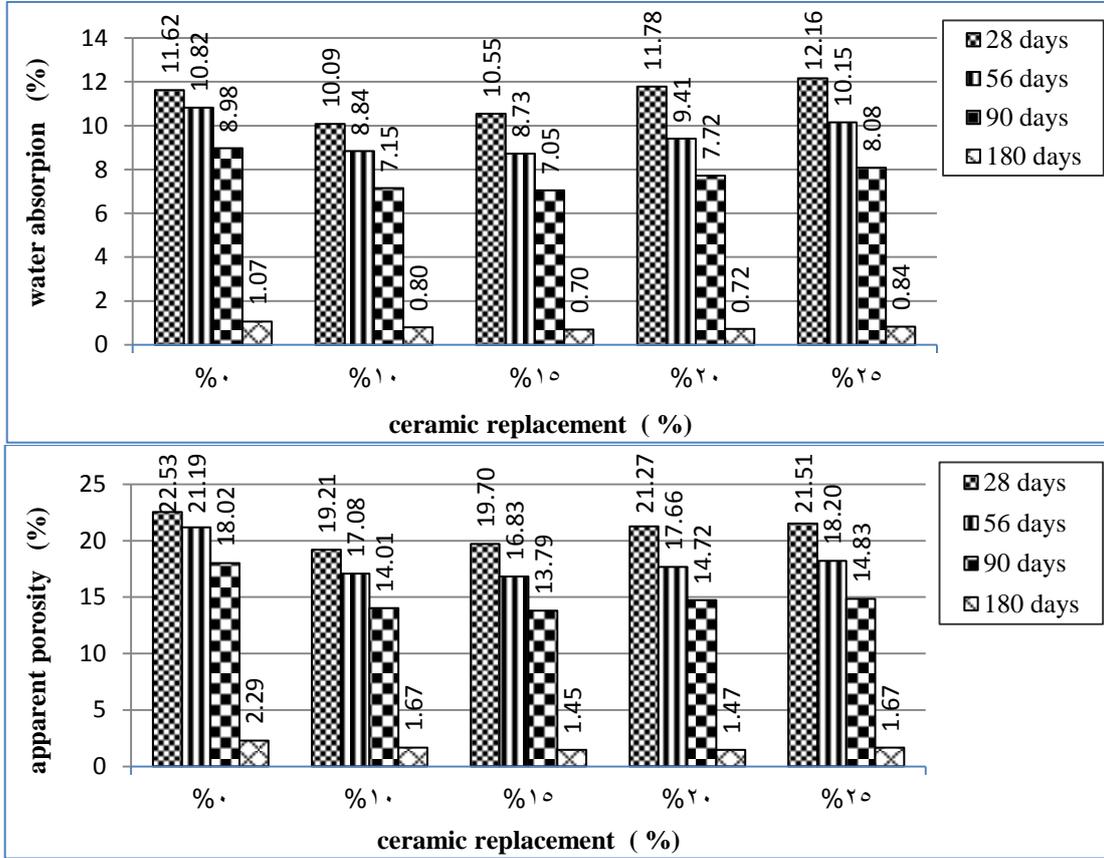


الشكل (10) المحتوى الذري للعينة العينة مرجعية حسب EDX

### ثانياً: تأثير مطحون السيراميك 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 بعمر 28 يوم، بأخذ مقدار 1كغ 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 بمنديل، ثم أخذ وزنها الجاف M3 بعد وضعها بالفرن بدرجة 105° مدة 24 ساعة وتطبيق العلاقات الآتية:

$$\text{Water Absorption (\% by weight)} = \frac{M_2 - M_3}{M_3} \times 100 \quad \text{Apparent porosity (\% by volume)} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100$$



الشكل (11) قيم الامتصاص والمسامية لجميع الخلطات حتى 180 يوم

الجدول (7) تحسن الامتصاص والمسامية مقارنة بالعينة مرجعية لجميع الخلطات حتى 180 يوم

النسب المئوية لتحسن الامتصاص				النسب المئوية لتحسن المسامية				
25%	20%	15%	10%	25%	20%	15%	10%	
-4.66	-1.39	9.19	13.1	4.54	5.58	12.5	14.74	28 day
6.15	13.0	19.3	18.2	14.1	16.6	20.5	19.40	56 day
10.0	14.0	21.5	20.3	17.6	18.3	23.4	22.22	90 day
21.5	32.5	34.1	24.6	27.2	35.8	36.4	27.10	180da

ولتحديد أثر مطحون السيراميك تم مراقبة الامتصاص والمسامية لمدة 180 يوم والنتائج موضحة بالشكل (11) والجدول (7)، عادة الإضافات تتطلب كمية ماء أكبر بسبب نعومتها وسطحها النوعي الكبير مما يزيد الامتصاص، ولكن هذا لم ينطبق على مطحون بلاط السيراميك الذي تتمتع حبيباته بقلة المسامية هذا من جهة، ومن جهة أخرى يعمل على تشكيل C-S-H & C-A-S-H جديدة التي من شأنها أن تحسن الاكتناز وتشكل ما يشبه غشاء عائق

Membrane يقلل نفاذية الماء ويحسن الامتصاص (Mas , 2015). فيملاحظة القيم بالجدول (7) نجد أنه فقط من أجل استبدال 20% و 25% بعمر 28 يوم زاد الامتصاص بشكل طفيف 1.39% & 4.66% على التوالي.

### ثالثاً: تأثير مطحون السيراميك 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) سيتم تطبيق أسلوبين اعتمدتهما الدراسات المرجعية المهمة بديمومة GRC للتنبؤ بأداء هذه المادة مع الزمن، كونها مادة جديدة نوعاً ما بدء استخدامها مع اكتشاف الألياف من نوع AR-Glass في بداية السبعينيات ولم ينتشر حتى الثمانينيات:

#### (a) الغمر بحمامات الماء الساخن بدرجة 50°:

اعتمدت معظم الدراسات المهمة بديمومة مادة GRC على أسلوب الغمر بالماء الساخن لعينات GRC كونها طريقة معالجة لتسريع الإماهة أي تسريع شيخوخة GRC وهذا ما يعرف بـ GRC Accelerated Aging وبالتالى إمكانية توقع أداء هذه المادة مع الزمن تحت تأثير الأجواء الطبيعية بعد اكتمال الإماهة. حيث يؤكد (Huijun , 2013) 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 وبالتالى مقاومة بديمومة 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 (Litherland , 1981) أساسياً ورائداً في هذا المجال وعمم استخدامه في الكثير من الدراسات المهمة بديمومة GRC حيث قام بغمر عدد كبير جداً من العينات بدرجات حرارة مختلفة حتى 80° وقارن مع عينات متروكة لعشرات السنين بالأجواء الطبيعية لمدن في بلدان كثيرة حول العالم، فتوصل إلى أن عمر عينات GRC بدرجات حرارة عالية يلائم فقط الأجواء الحارة جداً كالبيئات الاستوائية كونه يحدث هبوط حاد بالمقاومات، أما الغمر بدرجة حرارة 50° يلائم الكثير من المناخات حول العالم كما يحدث هبوطاً تدريجياً بالمقاومات يحاكي التدهور الحاصل لها بالأجواء الطبيعية، ويفترض النموذج أن عمر عينات GRC بدرجة 50° مدة 150 يوم يعادل بقائها 50 عام بالأجواء الطبيعية لمناخات عديدة. لذلك تم غمر عينات GRC بعد أن أتمت 28 يوم بحمامات الماء الساخن 5° 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.

الجدول (8) تدهور مقاومات العينات المغمورة بالحمام الساخن مقارنة بالعينة مرجعية

التحسين المقارن مقارنة بالعينة مرجعية	المقاومات بعد الغمر 150 يوم (MPa)	التحسين مقارنة بالعينة مرجعية	المقاومات بعد الغمر 56 يوم (MPa)	التحسين مقارنة بالعينة مرجعية %	المقاومات بعد الغمر 28 يوم (MPa)	المقاومات قبل الغمر (MPa)	CE %
-	6.85	-	7.18	-	7.56	9	0%
27.02	8.70	23.65	8.88	19.87	9.06	9.20	10%
25.39	8.59	21.08	8.70	17.37	8.87	9	15%

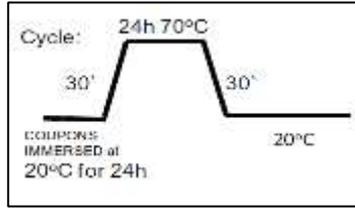
24.56	8.53	20.03	8.62	15.31	8.72	8.85	20%
24.24	8.51	18.64	8.52	13.85	8.61	8.65	25%

يتضح من الجدول (8) تحسن مقاومات العينات الحاوية على السيراميك حتى العينات باستبدال 20% و 25% والتي كانت مقاوماتها أقل من العينة مرجعية بعمر 28 يوم أعطت تحسن أكثر من 24% بعد الغمر 150 يوم، وهذا يؤكد الأداء البوزولاني الجيد لمطحون السيراميك بتشكيل روابط C-S-H & C-A-S-H جديدة حسنت المقاومات ولكن يذكر (Demir , 2011) & (Ezziane , 2010) أن روابط C-S-H & C-A-S-H المتشكلة من المواد البوزولانية أقل كثافة من التي يشكلها الكلنكر وتحتاج لوقت لتصبح أكثر تراص وقدرة على منح مقاومات أعلى.

### (b) 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 من خلال تعريضها لـ 25 حلقة تجفيف - ترطيب مدة كل حلقة 48 ساعة، كما يوضح الشكل (12) ثم تعريضها لاختبار الشد بالانعطاف حسب EN 1170-5. والنتائج موضحة بالجدول (9) حيث يظهر دور السيراميك في تحسين الديمومة باختبار حلقات التجفيف - ترطيب ويمكن أن يفسر ذلك ببساطة بسبب روابط C-S-H & C-A-S-H التي أصبحت أكثر غزارة بالعينات المعدلة بالسيراميك وعافت نفاذية الماء وحسنت المقاومات.

الشكل (12) حلقات التجفيف

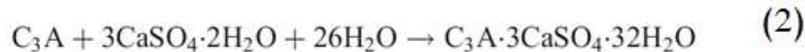
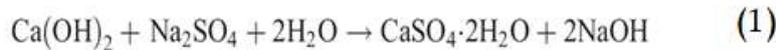


ترطيب-الجدول (9) نتائج حلقات التجفيف- ترطيب

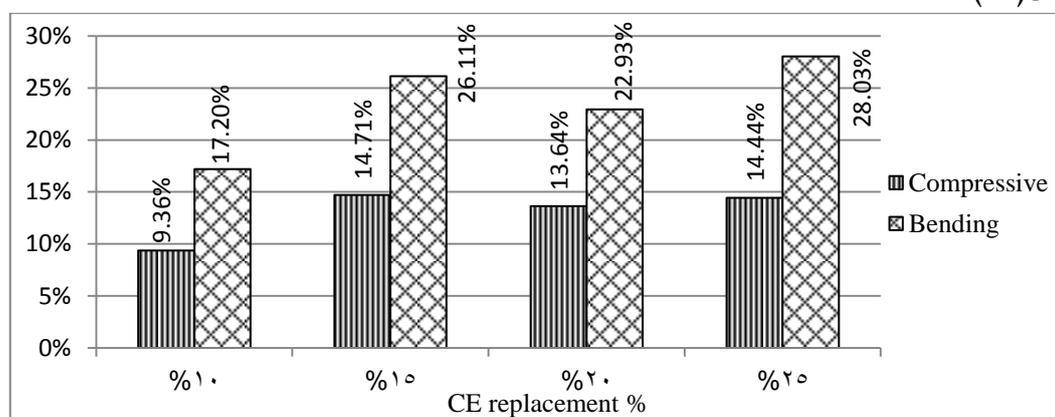
النسب المئوية لتحسن المقاومات بعد تعريضها لحلقات التجفيف - ترطيب					
25%	20%	15%	10%	0%	
8.64	8.67	8.47	8.90	7.92	MPa المقاومات
12.9	13.3	10.8	16.4		نسب التحسن %

### رابعاً: تأثير مطحون السيراميك على مقاومة الكبريتات:

تدرس المقاومة الكيميائية لمادة GRC بشكل مشابه للبيتون من خلال غمرها بأوساط كيميائية عدائية، لذلك تم صب مواشير (4\*4\*16) سم من GRC بنفس التركيب والنسب التي صبت منها الألواح وغمرها بمحلول كبريتات الصوديوم Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> بتركيز 5% مدة 60 يوم وتم تبديل المحلول كل أسبوعين مرة (Demir , 2011) وذلك لتحديد دور مطحون السيراميك في زيادة مقاومة الكبريتات كونها معيار أساسي لتقييم أدائه البوزولاني هذا من جهة، ومن جهة أخرى كون مادة GRC تستخدم بشكل كبير كقنوات للصرف أو كواجهات خارجية في بيئات قاسية كالبيئات البحرية، ويكثرت الحالات التي 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 C<sub>3</sub>A الموجود بالاسمنت ليتشكل الاتريغاييت Ettringite وفق المعادلة (2):



يسبب الاترنيغاييت الناتج التشققات التي تتغلغل منها المواد المخربة وبالتالي تنقص المقاومات بسبب تهتك العجينة الاسمنتية (ACI 201.2R-01 , 2001). نسب تحسن المقاومات على الانحناء والضغط المقاسة حسب BS EN 196-1 للعينات المعدلة بالسيراميك مقارنة بالعينة مرجعية بعد غمرها بالكبريتات مدة 60 يوم موضحة بالشكل (13)

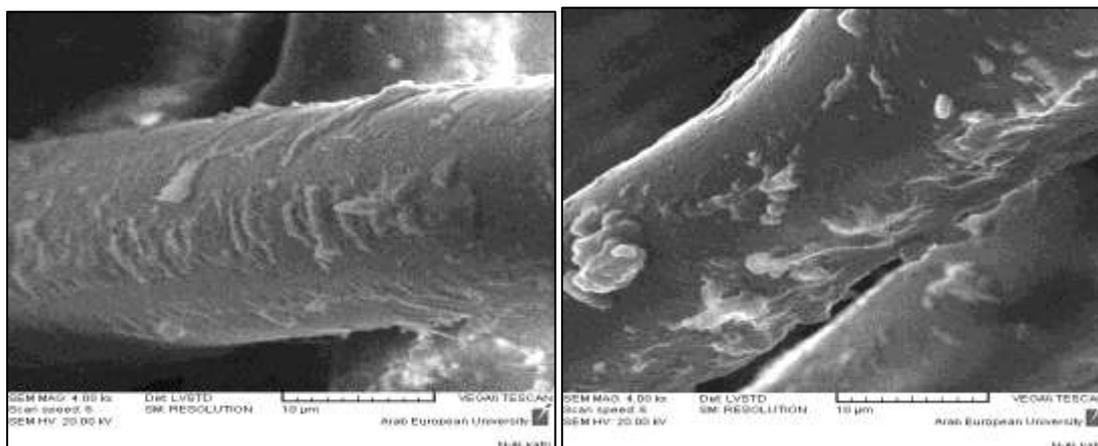


الشكل (13) نسب تحسن مقاومات الضغط والانحناء للعينات المغمورة بالكبريتات

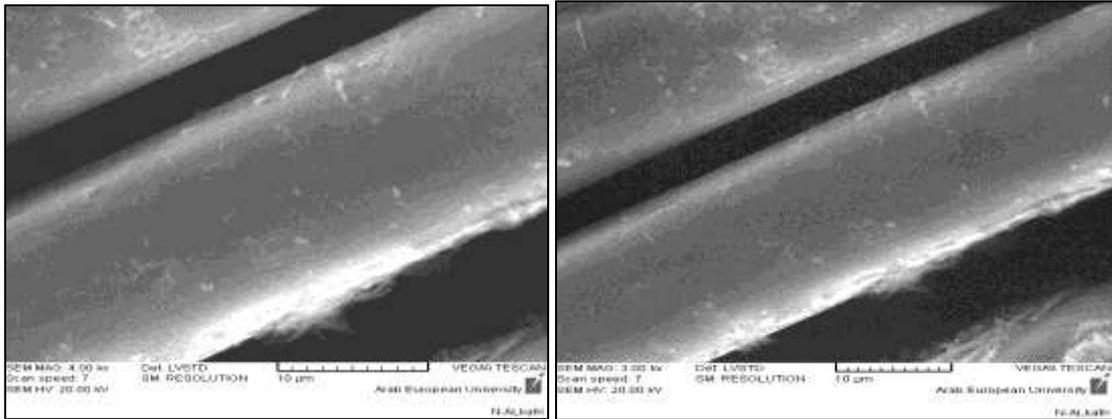
من الشكل السابق نلاحظ أن العينات المعدلة بمطحون السيراميك كانت مقاومتها أعلى لهجمات الكبريتات من العينة العجينة مرجعية، وذلك بفضل الفعل البوزولاني لمطحون السيراميك باستهلاك كمية أكبر من البورتلانديت وبالتالي التقليل من كمية الجبس المتشكل، أضف لأن حذف نسبة من الاسمنت يعني حذف نسبة من  $C_3A$  كل ما سبق قلل كمية الاترنيغاييت المتشكل، هذا بالإضافة لزيادة روابط C-S-H و C-A-S-H التي ملأت الفراغات والمسام وعاققت نفاذية الكبريتات (Demir , 2011).

### 3-4 الدراسة المجهرية:

أكدت الدراسة بالمجهر الالكتروني (SEM) Scanning Electron Microscopy بجهاز من نوع VEGA II Xmu بكاشف طراز LVSTD ماتوصلنا له سابقاً بالدور الفعال لمطحون السيراميك بانقاص البورتلانديت وبالتالي تقليل PH الخلطة ولهذا أهمية خاصة بخلطة GRC الغنية بالاسمنت، حيث نلاحظ من الصور التي أخذت للعينات التي غمرت بحمامات الماء الساخن، أن تأكل وتهتك الألياف بالعينة مرجعية- الشكل (14)- أقل بشكل واضح من تهتكها بالعينة المعدلة بالسيراميك 25% - الشكل (15)-



الشكل (14) صور بالمجهر الالكتروني لألياف من العينة مرجعية



الشكل (15) صور بالمجهر الالكتروني لألياف من عينة معدلة بالسيراميك 25%

### الاستنتاجات والتوصيات:

- تم من خلال هذه الدراسة تصنيع ألواح GRC والعمل على تحسين ديمومة الألياف بتعديل بنية الخلطة باستخدام نسب 10%-15%-20%-25% من مخلفات السيراميك، ويمكن تلخيص النتائج بالتالي :
- 1- أعطى منتج GRC المصنع بإحضارات محلية واسمنت وطني مقاومات مقبولة بالنسبة لمنتج مصنع بأسلوب المزج Premix ونسبة S/C=1 ونسبة ألياف 3% وتلبي الكثير من الوظائف والاستخدامات.
  - 2- إن مطحون السيراميك المستخدم مادة بوزلانية حققت متطلبات ASTM C618 .
  - 3- لم يظهر أثر سلبي يذكر لمطحون السيراميك على قابلية تشغيل الخلطة الطرية.
  - 4- أنقص مطحون السيراميك المستخدم مقاومة الشد بالانعطاف بعمر 7 يوم، ولكن عادت وتحسنت مع الوقت، وأصبحت أعلى من العينة مرجعية عند عمر 56 يوم من أجل جميع الاستبدالات.
  - 5- حسن مطحون السيراميك المستخدم خصائص الديمومة المدروسة بالشكل التالي:
- تقليل محتوى البورتلانديت بالخلطة وتشكيل C-S-H & C-A-S-H إضافية باعتماد تقنية EDX & XRD الأمر الذي حسن الديمومة والمقاومات مع الوقت.
  - ظهر الأثر الأكبر لمطحون السيراميك من خلال تحسين أداء المادة تجاه نقص الخصائص الحاصل مع الزمن، حيث تحسنت مقاومات العينات لحقات التجفيف - ترطيب وكذلك تحسنت مقاومة العينات المسرعة الشبخوخة بالغمر بحمامات الماء الساخن 50°.
  - تقليل الامتصاص والمسامية.
  - تحسين مقاومة الكبريتات.
  - تقليل تآكل وتهتك الألياف الذي ظهر واضحاً بصور المجهر الالكتروني SEM.
- ويمكن أن نوصي بالتالي:
- إمكانية استخدام مخلفات السيراميك بصناعة GRC لأغراض تحسين الديمومة والتقليل من استهلاك الاسمنت لما لذلك من أهمية بيئية واقتصادية.
  - دراسة أثر مطحون السيراميك مع خلطة GRC على نقاط أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية كمقاومة الأحماض والقلويات أو نفاذية الكلوريدات مثلاً.

– أن النتائج التي حصلنا عليها ممكن أن تكون مؤشراً لاستخدام مخلفات السيراميك بصناعة اسمنت بوزولاني محلي مخفض الكلفة وصديق للبيئة.

### المراجع:

- 1- ACI Committee 201.2R-01. *Guide to Durable Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001, 41.
- 2- ACI Committee 232. 1R. *Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001, 24.
- 3- ACI Committee 544.5R-10. *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan , 2010, 35.
- 4- AMITKUMAR, D. et al. *Ceramic Waste : Effective Replacement Of Cement For Establishing Sustainable Concrete*. International Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 4, No. 6, 2013, 2324-2329.
- 5- ASTM C618-12a: Type N. *Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete*. American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, 2012. .
- 6- BENTUR, A. et al. *Durability of Glass Fiber Reinforced Cement with Different Alkali-Resistant Glass Fibers*. Journal of the American Ceramic Society, Vol. 68, No. 4, 2006, 203 – 208.
- 7- BIGNOZZI, C. ؛ BONDU, S. *Alternative blended cement with ceramic residues: corrosion resistance investigation on reinforced mortar*. Cement and Concrete Research, Vol. 41, No.9 , 2011, 947–954.
- 8- BRAMESHUBER, W. ؛ BROCKMANN, T. *Calcium Aluminate Cement as Binder for Textile Reinforced Concrete*. International Conference on Calcium Aluminate Cements (CAC), Edinburgh, Scotland, 2001, 659-666.
- 9- CEM-FIL International Ltd. *Cem-FIL GRC Technical Data*. Vetrotex, UK, 1998, 91.
- 10- CEM-FIL International Ltd. *Guide to Premix Manufacture*. Vetrotex, UK, 2009, 20.
- 11- CUI, Y. et al.\* *The influence of component change of raw materials on GRC durability*. 15th International GRCA Congress, Beijing, China, 2008, 1-10 .
- 12- CUI, Y. et al. *Influence of siliceous material on durability of GRC based on Portland cement*. 15th International GRCA Congress, Beijing, China, 2008, 16-29.
- 13- DANİYAL, M. ؛ AHMAD, A. *Application of Waste Ceramic Tile Aggregates in Concrete*. International Journal of Innovative Research in Science, Vol. 4, No. 12, 2015, 808-815.
- 14- DEGUTIERREZ, Z. et al. *Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars*. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, 593-598.
- 15- DEMIR, I. ؛ YAPRAK, H. *Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions*. J Ceramics Silikat, Vol. 55, No. 3, 2011, 268-275.
- 16- EN 1170 parts 1-8 European committee for Standardization. *precast concrete products: test methods for glass-fiber reinforced cement*, Bruxelles, 1998.

- 17- ENFEDAQUE, A. et al. *The effect of silica fume and metakaolin on glass-fibre reinforced concrete (GRC) ageing*. *Materiales de Construcción*, Vol. 6, No.300, 2010, 67-82.
- 18- EZZIANE, K. et al. *Analysis of Mortar Long-Term Strength with Supplementary Cementitious Materials Cured at Different Temperatures*. *ACI Materials Journal*, July-August, 2010, 323-331.
- 19- FERNANDEZ, R. *Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries*. Ph. D thesis, Lausanne university, 2009, 178.
- 20- GENOVES, V. et al. *Ultrasonic characterization of GRC with high percentage of fly ash substitution*. *Ultrasonics*, Vol. 60, 2015, 88–95.
- 21- GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association. *Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products*. 2<sup>nd</sup> ed., Blackwater, UK, 2006, 12.
- 22- GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association. *Methods of Testing Glass fibre Reinforced Concrete (GRC) Material*. Blackwater, UK, 2016, 20.
- 23- HAILI, C. et al. *Research on recycling use of waste brick in GRC*. *J Recyclable Resources and Circular Economy*, Vol. 8, 2014, 23-26.
- 24- HAILI, C. et al. *Influences of waste brick on the durability of GRC under the condition of accelerating GRC ageing*. *J Concrete and Cement Product*, Vol. 7, 2015, 84-87.
- 25- HAREL, S. *Glass Fiber Reinforced Concrete & Its Properties*. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, Vol. 3, No. 1, 2014, 118-120.
- 26- HUIJUN, W. et al. *Damage Action of Alkali-resistant Glass Fiber in Cement-based Material*. *Journal of Wuhan University of Technology-Material Sciences*, August, 2013, 761-765.
- 27- JIMEENEZ, J. et al. *Use of Fine Recycled Aggregates from a Ceramic Waste in Masonry Mortar manufacturing*. *Construction and Building Materials*, Vol. 40, 2013, 679–690.
- 28- KEPPERT, K. et al. *Waste ceramics as supplementary cementitious material: characterization and utilization*. *Transactions on Ecology on The Built Environment*, Vol. 142, 2014, 231-239.
- 29- LAVAT, A. et al. *Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture*, *Waste Manag.*, 29, 2009, 1666-1674.
- 30- LITHERLAND, K. L. and et al. *The Use Of Accelerated Ageing Procedures To Predict The Long Term Strength Of GFRC Composites*. *Materials Research Society*, Vol. 11, 1981, 455-466.
- 31- MALAMATENIA, S. *Experimental Study Of Glass Fiber Reinforced Mortar By Variable Percentage Of Fibers With Marble Aggregates*. MSc thesis, Kingston University, 2007, 55.
- 32- MALHOTRA, M. et al. *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, 2000.
- 33- MARIA, C. & ANDERA, S. *Ceramic waste as aggregate and supplementary cementing material: A combined action to contrast alkali silica reaction (ASR)*. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 34, No. 10, 2012, 1141–1148.
- 34- MAS, M. et al. *Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement*. *Advances in Cement Research*, II, 2015, 1-12.

- 35- MEYER, C. *The greening of the concrete industry*. Cement and Concrete Composites, Vol. 31, 2009, 601–605.
- 36- NPCAA National Precast Concrete Association Australia. *Design, Manufacture and Installation of Glass Reinforced Concrete (GRC)*. 3<sup>th</sup> ed., TechMedia, 2006, 92.
- 37- PASTOR, J. M. et al. *Influence of Additives on the Weatherability Behaviour of Glass Reinforced Concrete (GRC) Prefabricated Façade Panels*. International Conference on Durability Building Materials And Components, Portugal, April 12<sup>th</sup>-13<sup>th</sup>, 2011, 1-8.
- 38- PELED, A. et al. *Effect of matrix modification on durability of glass fiber reinforced cement composites*. Materials and Structures, Vol. 38, No. 2, 2005, 163-171.
- 39- PUERTAS, F. *Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production*. Cement & Concrete Composites, Vol. 30, 2008, 798-805.
- 40- PURNELL, P. & BEDDOWS, J. *Durability and simulated ageing of new matrix glass fibre reinforced concrete*. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, 75–884.
- 41- PURNELL, P. et al. *Microstructural in New Matrix Glass Fibre Reinforced Cement*. Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 11, 2010, 1747-1753.
- 42- RABEHI, B. et al. *Study of calcined halloysite clay as pozzolanic material and its potential use in mortars*. International Journal of the Physical Sciences, Vol. 7, No. 31, 2012, 5179-5192.
- 43- RAVAL, A. et al. *Eco-Efficient Concretes: Use Of Ceramic Powder As A Partial Replacement Of Cement*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Vol. 3, No. 2, 2013, 1-4.
- 44- ROCHA, C. et al. *Influence of stone cutting waste and ground waste clay brick on the hydration and packing density of cement pastes*. Revista de Estruturas Materiais, Vol. 6, No. 4, 2013, 941-972.
- 45- SCHACKOW, A. et al. *Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars.*, Cement and Concrete Composites, Vol. 62, September, 2015, 82-89.
- 46- SCHEINHERROVAL, L. et al. *Thermal Properties of High-Performance Concrete Containing Fine-Ground Ceramics as a Partial Cement Replacement*. Materials Science, Vol. 21, No. 30, 2015, 444-448.
- 47- SHAKOR, P. & PIMPLIKAR, S. *Glass Fibre Reinforced Concrete Use in Construction*, International Journal of Technology And Engineering System, Vol. 2, No. 2, 2011, 41-48.
- 48- SHASHIVAR, R. & MALLIK, S. *Experimental Study on Replacement of Aggregate with Ceramic Waste and Quarry Sand*. International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research, Vol. 3, No. 5, 2016, 44-47.
- 49- SUJIVORAKUL, C. & JATURAPITAKKUL, C. *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, 2011, 1281-1288.
- 50- TERREZA, M. et al. *Portland blended cements: demolition ceramic waste management*. Materials DE Construction, Vol. 67, No. 325, 2017, 114-119.
- 51- TORGAL, F. *Compressive strength and durability properties of ceramic wastes based concret*. Materials and Structures, Aprile, 2010, 155-167.
- 52- TYDLITAT, V. et al. *Hydration Heat Development in Blended Cements Containing Fine-ground Ceramics*. Thermochemica Acta, Vol. 543, 2012, 125 – 129.