مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

# أثر البوزولانا الطبيعية على ديمومة المنتجات المسبقة الصنع من الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية GFRC

**د. علي خيربك***

**د. عماد فاضل****

**سوزان تفاحة*****

**(تاريخ الإيداع 18 / 12 / 2017. قُبِل للنشر في 4/ 7 / 2018)**

## □ ملخّص □

بهدف تحسين ديمومة المنتجات المسبقة الصنع من الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية، وضمن سياق تطبيقات الاستدامة والتقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، تم القيام بهذه الدراسة لاختبار دور البوزولانا الطبيعية المأخوذة من تل شيحان بالسويداء كمستبدل اسمنتي بنسب 10%- 15%- 20%- 25%، وتحديد تأثير كل من هذه النسب على قوام الخلطة ومقاومة الشد بالانعطاف على مدى 180 يوم، وكذلك اختبر دورها في تحسين البنية الداخلية للخلطة من خلال التقليل من محتوى $Ca(OH)_2$ 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 البوزولانا الطبيعية في السيطرة على التدهور الحاصل للمادة بمرور الزمن والذي اختبر من خلال الغمر بالماء الساخن بدرجة $50^{\circ}C$ لمدة 150 يوم وبحلقات التجفيف – ترطيب، وتم أيضاً دراسة أثرها على الامتصاص والمسامية ومقاومة هجمات الكبريتات. أظهرت النتائج أنه ليس للبوزولانا الطبيعية المستخدمة أثر سلبي يذكر على قوام الخلطة أو على الخصائص الميكانيكية وتحسنت جميع عوامل الديمومة المدروسة.

**الكلمات المفتاحية:** ديمومة الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية – الميتاكاولن – البوزولانا الطبيعية كمستبدل اسمنتي.

* أستاذ – قسم هندسة وغدارة التشييد- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

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

***طالبة دكتوراه – قسم هندسة وغدارة التشييد- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

# Effect of natural pozzolan on the durability of precast products of Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC)

**Dr. Ali Khairbek** [*]
**Dr. Emad Fadel** **
**Susan Tuffaha** ***

**(Received 18 / 12 / 2017. Accepted 4 / 7 / 2018)**

## □ ABSTRACT □

The aim of this study is improving the durability of precast products of Glass Fiber Reinforced Concrete (GRC) and in the context of sustainability applications, reduction of cement consumption and replacement of it with green materials. This study has been done to test the role of the natural pozzolan from Shihan Hill in As Suwayda as supplementary cementing material by 10% -15% -20% - 25%, 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 and increasing C-S-H & C-A-S-H gel, which were tested using X-Ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) techniques, and as a result reduced the erosion of fibers as shown in images by Scanning Electronic Electron Microscopy (SEM). Moreover the role of pozzolana has been studied in controlling the degradation of the material over time which tested by immersion in hot water 50° for 150 days and by drying – wetting cycles. Also the effect of pozzolana on absorption, porosity and resistance of sulfates attacks was studied. The results have shown that the used natural pozzolana has no negative effect on consistency or mechanical properties, and it improved all the studied durability factors.

**Key words**: Durability of Glass fiber reinforced cement – Metakaolin - Natural Pozzolan as supplementary cementing material - GFRC.

[*] **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.**

**مقدمة:**

إن المنتجات المسبقة الصنع من 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 الاضافات كالملدنات Supperplasticizers 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 ثاني أكسيد الزركونيوم ($ZrO_2$ > 16%) مما يجعل منها مقاومة للأوساط الاسمنتية عالية القلوية (Harel , 2014) & (Cui , 2008) حيث تلعب الألياف دور مقاومة قوى الشد والحد من التشققات التي لا تمتلكها بشكل كافي الخلطة بسبب طبيعتها الانقصافية ذات الهشاشة (Brittle) بالاضافة إلى دورها بزيادة 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 الاكساء الداخلي والخارجي للمباني أو كخزانات وقنوات للري والصرف وفي أعمال الترميم فوق مبنى أساساته غير معدة لتحمل حمولات إضافية وفي مجالات أخرى كثيرة، باعتبارها مادة سهلة القولبة يمكن تصنيع أشكال مختلفة منها وقابلة للفك والتركيب بسهولة، كما أنها خفيفة الوزن كونها تصنع بمقاطع نحيلة من مرتبة ميليمترات بالاضافة 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 (Bentur , 2006) & (Cui , 2008) & (Huijun , 2013) حيث يوصف (ACI 544.5 R-10, 2010) **(** آلية تخريب الالياف الزجاجية ضمن بيئة قلوية قاسية كالوسط الاسمنتي:

1– آلية تخريب كيميائي بسبب ايون $OH^-$ المتحرر من هدروكسيد الكالسيوم الذي يخرب بنية الليف ويضعف سطح الالياف –2– آلية تخريب ميكانيكي بسبب بلورات هدروكسيد الكالسيوم التي تسبب قوى ضغط وقص على الألياف تؤدي لتهتكها ويظهر هذا النوع من التخريب بالمراحل الاولى من عمر المنتج قبل أن يصبح التخريب الكيميائي فعالاً –3– تهتك بسبب الحمولات الخارجية بعد عمر طويل للمنتج.

استخدمت بعض الدراسات المهتمة بتحسين ديمومة خلطات GRC أنواع اسمنت منخفضة القلوية من نوع calcium sulfo-aluminate مثل (Purnell , 2010) & (Cui , 2008*) أو من نوع calcium aluminate cement مثل (Brameshuber , 2001) وأعطى استخدام هذه الأنواع نتائج أفضل من البورتلاندي العادي تجاه تحسين ديمومة GRC لكن لها سلبيات فكلفة تصنيعها أعلى وانتاجها 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 الالياف مثل (Purnell , 2005) أو باستخدام إضافات بوزولانية كخبث الأفران Slag مثل (Peled , 2005) أو الرماد المتطاير Fly Ash مثل (Genoves , 2015) أو كهباب السيليس silica fume مثل (Enfedaque , 2010)، هذا بالاضافة لاستخدام الميتاكاولن $Al_2Si_2O_7$ وهو نوع من الطين غني جداً بمنرالات السيليس والألومينا ويسمى أحياناً الصلصال الصيني ويتشكل من تعريض الكاولن

الموجود بهذه الأطيان لدرجات حرارة عالية مما يحطم البنية البلورية Crystallic structure لمنزالاتها ( فلزاتها) ويحولها لبنية غير متبلورة Amorphous وبهذه البنية يستطيع أن يلعب درواً بوزولانياً فعالاً باستهلاك كمية أكبر من $Ca(OH)_2$ وتشكيل روابط جديدة من C-A-S-H & C-S-H) gel) التي تتميز بطبيعة هلامية كارهة للماء تملأ المسامات وبالتالي ديمومة أعلى (ACI 232.1 R , 2001) & (Rabehi , 2012).

أعطى استخدام الميتاكاولن 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 الميتاكاولن مع GRC عند De (Gutierrez , 2005) نتائج أفضل من العينات المعدلة بهباب السيليس أو بالرماد المتطاير، وعند (Cui , 2008) قلل استخدام 20% ميتاكاولن محتوى هدروكسيد الكالسيوم بخلطة GRC وبشكل أفضل من العينات المعدلة 50% بخبث الأفران، وأيضاً جرب (Sujivorakul , 2011) تأثير حتى 20% من الميتاكاولن 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، أيضاً عند (Enfedaque , 2010) كان لاستخدام 10% من الميتاكاولن 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%، وقلل استخدام الميتاكاولن الامتصاص والانكماش والتمدد بالحرارة عند (Ho , 2008) .

يمكن للبوزولانا الطبيعية Natural Pozzolan باعتبارها مواد ذات أصول سيليسية وألومينية تم ترميدها بفعل الطبيعة الجبار كالبراكين التي حدثت في الماضي (ACI 232.1 R , 2001) أن يكون لها دور مشابه للميتاكاولن بتحسين ديمومة GRC بالإضافة أنها أعطت نتائج مرضية عند استخدامها كمستبدل اسمنتي بخلطات الملاط والبيتون. فعند ( Dipayan , 2007) حسن استخدام البوزولانا الطبيعية من أراضي كندا المقاومات على المدى البعيد وزادت مقاومة الكبريتات كما قلت النفاذية والتفاعل القلوي للحصويات وتحسنت البنية الداخلية للخلطة حيث قل محتوى البورتلانديت فيها كما قل انفصال الخلطة الطرية وقل انكماشها، أما عند (Aissa , 2012) قلل استخدام البوزولانا الطبيعية الامتصاص والمسامية ونفاذية الكلوريدات وأوصى الدارس بإمكانية استخدامها مع البيتون عالي الأداء، كما أعطى استخدام بوزولانا طبيعية من أراضي الجزائر مقاومة أعلى للكبريتات والأحماض وقلت نفاذية الكلوريدات عند (Ghrici , 2007) & (Merida , 2014) & (Merida , 2015) ، أما عند (Khan , 2011) قللت بوزولانا من أراضي السعودية المسامية ونفاذية الكلوريدات وأعطت مقاومات قريبة من العينة المرجعية، كما أعطى استخدام البوزولانا الطبيعية من صربيا مقاومات أعلى من العينة المرجعية اعتباراً من عمر 28 يوم عند (Milovic , 2015) وتحسنت مقاومة السلفات وقلت نفاذية الكلوريدات، وعند (Uzal B. , 2012) ساهمت البوزولانا بتقليل محتوى البورتلانديت وتشكيل كمية أكبر من C-S-H & C-S-H gel وتحسين البنية الداخلية للخلطة، أما عند (Markiv , 2016) فقد قلل استخدام البوزولانا النفاذية وزادت مقاومة حلقات التجميد– تذويب، كما زادت مقاومة الأوساط الحمضية وقلت نفاذية الماء والكلوريدات وقل الانكماش وتآكل التسليح كونها حسنت البنية الداخلية للخلطة عند (Najimi , 2012)، أما عند (Sabet , 2013) أعطى استخدام البوزولانا نتائج مقبولة مع البيتون عال الأداء وأفضل من النتائج التي أعطاها الرماد المتطاير وأقل من النتائج التي أعطاها هباب السيليس ولكن بالمقابل كلفة البوزولانا أقل من هباب السيليس. ويجدر بالذكر أن البوزولانا الطبيعية قد تستخدم كمستبدل حصوي أيضاً للحصول على بيتون خفيف، فعند (خيربك ، 2014) استخدمت بوزولانا تل شيحان من أراضي السويداء كمستبدل حصوي لانتاج بيتون خفيف لاستخدامات خاصة.

بمعظم الدراسات المذكورة سابقاً حسّن استخدام البوزولانا خصائص الديمومة، ولكن كانت تقل المقاومات بأعمار مبكرة خصوصاً مقاومة الضغط، وكون أن المصممون لايزالون يعتمدون بالتصميم على المقاومات سيما مقاومة الضغط باعتبارها معيار مهم لتصميم العناصر الحاملة الأمر الذي جعل من استخدام الإضافات محدود عملياً بالرغم من النتائج الجيدة تجاه تحسين خصائص الديمومة، ولكن التوجهات الحديثة بالتصميم تركز على موضوع الديمومة، فمن غير المجدي تصميم عنصر بمقاومة عالية بخلطة لا تتمتع بديمومة 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 وتركيبتها الكيميائية والمنرالية، 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 % مقبول، فهو يحسن خصائص الديمومة وأثره طفيف على المقاومات والتشوهات، فعندما درس (Tydlitat , 2012) أثر الاستبدال على مراحل الإماهة وجد أن الاستبدال بنسب أعلى من ذلك لن تؤدي الاضافة دوراً بوزولانياً فعالاً وستكون وكأنها فلر Filler وبالتالي ستقل المقاومات أكثر بسبب النقص غير المبرر بكمية $C_3S$ الناجم عن حذف نسبة أكبر من الاسمنت.

وباعتبار أن استخدام البوزولانا قد ينقص مقاومة الضغط، بالتالي يمكن استخدامها بالعناصر التي لا تعمل على الضغط أو التي تكون عرضة للاهتراء أكثر كبلاطات 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 عموماً عن 50% من إجمالي الوزن بتقليل الحرارة الداخلية للخلطة خصوصاً بالأجواء الحارة، حيث يؤكد (Ezziane , 2010) & (Najimi , 2012) أن المواد البوزولانية تتهدرج بحرارة أقل من الكلنكر الأمر الذي يساهم بتخفيض حرارة الخلطة ويجعلها تلعب دور براد داخلي فيها.

كما أن استخدام البوزولانا الطبيعية المحلية كمستبدل اسمنتي يساهم بالتقليل من استهلاك الاسمنت الذي أسعاره بتزايد مستمر، واستبداله بمواد خضراء أقل ثمناً منحتنا إياها طبيعة بلادنا الرائعة وهي متوافرة بكثرة، فوفق دراسة لوزارة النفط /المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية أنه يقدر الاحتياطي الجيولوجي للبوزولانا الطبيعية في سوريا بأكثر من 600 مليون طن لم يستثمر إلا جزء بسيط منها، هذا من جهة ومن جهة أخرى فإن التقليل من استخدام الاسمنت يعني التقليل من التلوث الناجم عن تصنيعه، حيث تتربع صناعة الاسمنت بالمراتب الاولى بين الصناعات المسببة للتلوث، حيث يسبب انتاج طن من الاسمنت انبعاث طن من غاز $CO_2$ وحيث يقدر الانتاج السنوي العالمي للاسمنت (1.6-2) بليون طن فهذا يعني انبعاث حوالي 2 بليون طن سنوياً من $CO_2$ وهذا يعادل 7% من إجمالي انبعاث الكربون بالعالم (Meyer , 2009) & (Malhotra , 2000). كما ويؤكد (Terreza , 2017) أن استبدال حتى 25% من الاسمنت ممكن أن ينقص كمية $CO_2$ بمقدار $3.8*10^8$ طن بالسنة.

## أهمية البحث وأهدافه:

1- تحسين ديمومة مادة GRC والتي تعتبر المشكلة الأكبر التي تواجهها، خصوصاً أنه يمكن اعتبارها جديدة على صناعة التشييد في سورية، وينتظر أن تكون مادة واعدة للاستخدام في عملية إعادة الإعمار سيما في أعمال التشييد السريع، وبالتالي يمكن للمستثمر طرح الكثير من الأسئلة حول ديمومتها مع الزمن.

2- التأكد من إمكانية استخدام بوزولانا مقلع تل شيحان بالسويداء مع خلطات GRC وبالتالي توظيف مجدي للأطنان الهائلة من البوزولانا المتوافرة بهذا المقلع والذي يبلغ الاحتياطي الجيولوجي له حوالي 36 مليون طن.

3- دعم التحقيقات العالمية حول استخدام البوزولانا الطبيعية مع خلطات GRC بالرغم من نتائجها الجيدة مع خلطات البيتون، ولكن الأبحاث حول استخدامها مع GRC محدودة جداً وبحاجة لمزيد من التحقيقات كونها مادة مركبة Composite Material وتصنع بمقاطع نحيلة (ميليمترات) ولها طرق خاصة للتقييم والاختبار.

4- توسيع نطاق البحث في مجال تطبيقات الاستدامة والتي تعتبر مواضيع الساعة، وذلك من خلال التقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء أقل ثمناً، خاصة كون أن خلطة GRC غنية بالاسمنت.

## منجهية البحث:

تم اعتماد المنهج التجريبي في هذا البحث، وتم إجراء الاختبارات اللازمة بمخابر: ( كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين- معمل اسمنت طرطوس – الهيئة العامة للطاقة الذرية والمعهد العالي للبحوث العلمية والتكنولوجية بدمشق)

## توصيف مواد البحث:

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

**الرمل :** تم استخدام رمل طبيعي سيليسي أبيض اللون من منطقة القريتين وهومن أنواع الرمل الناعم جداً كون معامل نعومته 1.6 < 2 تحليله الكيميائي مبين بالجدول (1) وتحليله المنخلي مبين بالشكل (1) ويحقق BS 882.

وللتحقق من نسبة الشوائب والأملاح المنحلة تم قياس نسبة المار من منخل 150µ 6.7% < 10% وأيضاً قيس المكافئ الرملي 83.32 % > 80% وبالتالي الرمل نظيف ولا داعي لغسله. ويوصى بخلطات GRC عند اعتماد أسلوب الخلط بالتصنيع أن يكون المار من منخل 2.4 مم 100%(Cem-FIL , 1998) و(GFRCA , 2006).

**البوزولانا الطبيعية من تل شيحان (NP):** تم أخذ كمية من بوزولانا تل شيحان وهي تعرف بأنها من أنواع الطف Tuffs البركاني أو الخبث البركاني ولها تركيبة مشابهة لتركيبة الصخور البازلتية ويشكل الزيوليت Zeolit نسب عالية منها، حيث تم تجفيفها بدرجة $105\ ^{\circ}C$ مدة 24 ساعة ثم تم طحنها بمطحنة تحتوي كرات معدنية متعددة الحجوم وزنها الاجمالي 12635 غ للحصول على مطحون منها بنعومة سطح بلين = 4360 سم$^2$/غ. التركيب الكيميائي للبوزولانا المستخدمة موضح بالجدول(1) والتدرج الحبي لهما موضح بالشكل (1) .

**** 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*

**الجدول(1) التركيب الكيميائي للاسمنت والرمل والالبوزولانا**

**مقاس باستخدام X-ray Fluoresence ( XRF)**

| % | PC | NP | Sand |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 22.74 | 44.9 | 97.77 |
| $Al_2O_3$ | 5.12 | 16.8 | 0.13 |
| $Fe_2O_3$ | 4.51 | 13.9 | 0.4 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| CaO | 63.41 | 9.4 | 0.56 |
| MgO | 2.97 | 8 | 0.1 |
| $SO_3$ | 1.45 | 0.14 | – |
| L.O.I | 1 | 1.95 | 0.33 |
| الكثافة $g/cm^3$ | 3.15 | 1.7 | 2.68 |

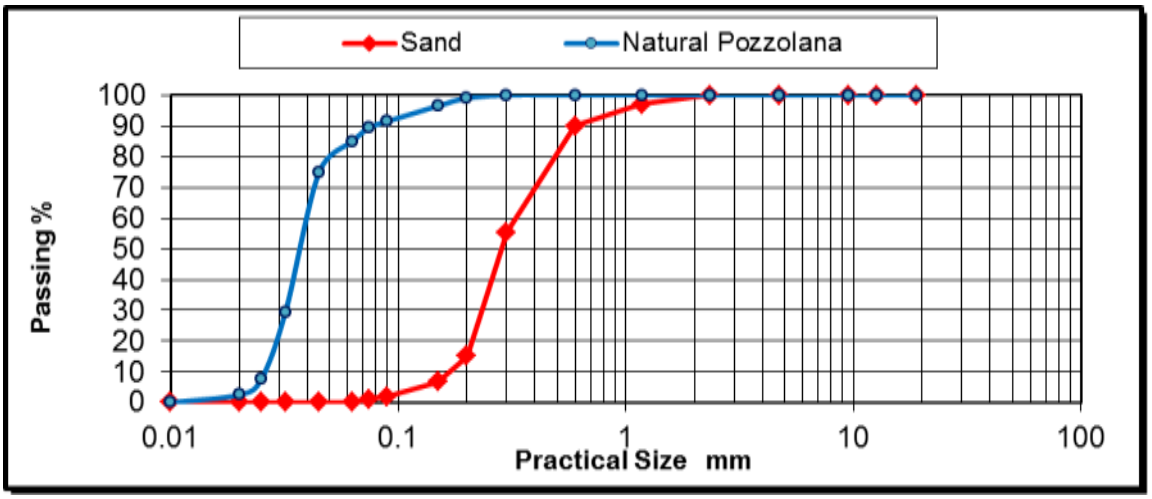
**الألياف الزجاجية NEG glass fiber**

للتأكد من كون البوزولانا المستخدمة صالحة للاستخدام كمستبدل اسمنتي بخلطات الاسمنت البورتلاندي يجب أن تحقق المواصفة ASTM C 618 Type N كما هو موضح بالجدول(2)، بملاحظة الجدول المذكور نجد أن البوزولانا المستخدمة تحققها وتصلح كمادة بوزولانية:

**الجدول(2) التحقق من التوافق مع ASTM C618**

| الاشتراطات | SC1 | ASTM C618 | |
|---|---|---|---|
| محتوى الأكاسيد (%) $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ | 75.6 | 70 min | OK |
| محتوى الكبريتات (%) $SO_3$ | 0.14 | 4 max | OK |
| الفاقد بالحرق (%) L.O.I | 2.95 | 10 max | OK |
| النعومة بقياس المتبقي على المنخل 45µ (%) | 25 | 34 max | OK |
| معامل الفعالية** (%) | 96 | 75 min | OK |

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




**الشكل (1) التدرج الحبي للرمل والبوزولانا**

**الملدن(S.P)** : 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 النفتالين وتعتبر الأفضل مع خلطات GRCخصوصاً عند اعتماد طريقة Premix بالتصنيع، وهو يحقق اشتراطات ASTM C494 Type F وخصائصه موضحة بالجدول(3).

**الجدول(4) خصائص الألياف الزجاجية**

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

**الجدول(3) خصائص الملدن**

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

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

**طريقة الخلط والمعالجة:** بعد الاطلاع على تقنيات تصنيع GRC وكميات ونسب الخلط المناسبة حسب: (Cem-FIL , 1998) & (GFRCA , 2006) & (NPCAA , 2006) & (Cem-FIL , 2009) تم اعتماد أسلوب الخلط Premix 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 بالبوزولانا. فبعد وزن المواد بدقة تم وضع الاسمنت والماء والملدن

بخلاط مؤتمت بسرعتي خلط بطيئة وسريعة ذو سعة 5 لتر وذلك لمدة 15–30 ثانية ثم أضيف الرمل واستمر الخلط 30 ثانية أخرى، ثم تم إضافة الألياف بهدوء بعد تخفيض سرعة الخلاط لضمان عدم تكسر الألياف وخلطت مع الملاط مدة 30–60 ثانية، وبعد دهن القالب الذي أبعاده (65*30*1)سم بمادة عازلة– الشكل (2)– ثم تم وضع الخليط على طاولة هزازة لضمان ملئه بشكل انسيابي وطرد فقاعات الهواء وتغلغل جيد للألياف بالملاط ثم تم تسوية السطح بالمالج للحصول على وجه أملس – الشكل (3)–

**الشكل (2) دهن القالب بالمادة العازلة**

**الشكل (3) وضع الخليط على منضدة هزازة**

**الجدول (5) نسب وكميات الخلط اللزمة لتصنيع لوح واحد**

| | 0% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|---|---|---|---|---|---|
| Sand (gr) | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| Cement (gr) | 2100 | 1890 | 1785 | 1680 | 1575 |
| Pozzolana (gr) | 0 | 210 | 315 | 420 | 525 |
| 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 | 22 | 23 | 25 |

**المعالجة Curing:** تم تغطية القوالب بالبولثين Polythene مدة 24 ساعة للحفاظ على الرطوبة، ثم تم فك القوالب وحفظ الألواح برطوبة 90%–95% مدة 28 يوم، بعدها تم نشر عينات بأبعاد (30*5*1) سم.

**الشكل (4) نشر العينات من الألواح**

**الشكل (5) اختبار القوام حسب** EN 1170-1

## النتائج والمناقشة:

### 1 تأثير البوزولانا على قابلية تشغيل الخلطة:

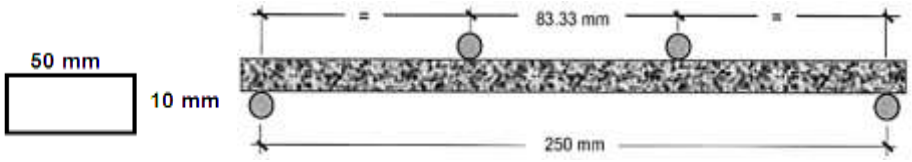
تم اعتماد EN 1170-1 المستخدم لقياس قابلية تشغيل خلطات GRC من خلال تحديد قطر الانتشار Flow لاسطوانة تم تصميمها لهذا الغرض قطرها الداخلي 57 مم بارتفاع 55 مم. كما ويحدد ASTM C 618 أن لا يتجاوز تأيثر الاضافة البوزولانية المستخدمة على قطر الانتشار ±5 مقارنة بالعينة المرجعية (control). إن البوزولانا المستخدمة قللت قابلية التشغيل قليلاً بسبب شراهتها للماء كون طبيعتها مسامية وسطحها النوعي كبير مما يجعلها تستهلك كمية أكبر من ماء الخلط (Markiv , 2016) و(خيربك ، 2014). ولكن حسب الجدول(6) نجد أن البوزولانا المستخدمة حققت كلا المواصفتين ولا يوجد تأثير سلبي واضح للبوزولانا على قوام Consistency الخلطة الطرية.

**الجدول (6) قيم قطر الانتشار**

| | 0% | 10% | 15% | 20% | 25% |
|---|---|---|---|---|---|
| Flow (mm) | 175 | 175 | 173 | 171 | 169 |
| Flow control ± 5% = (166.25 - 183.75)mm | - | OK | OK | OK | OK |

### 2 تأثير البوزولانا على مقاومة الشد بالانعطاف:

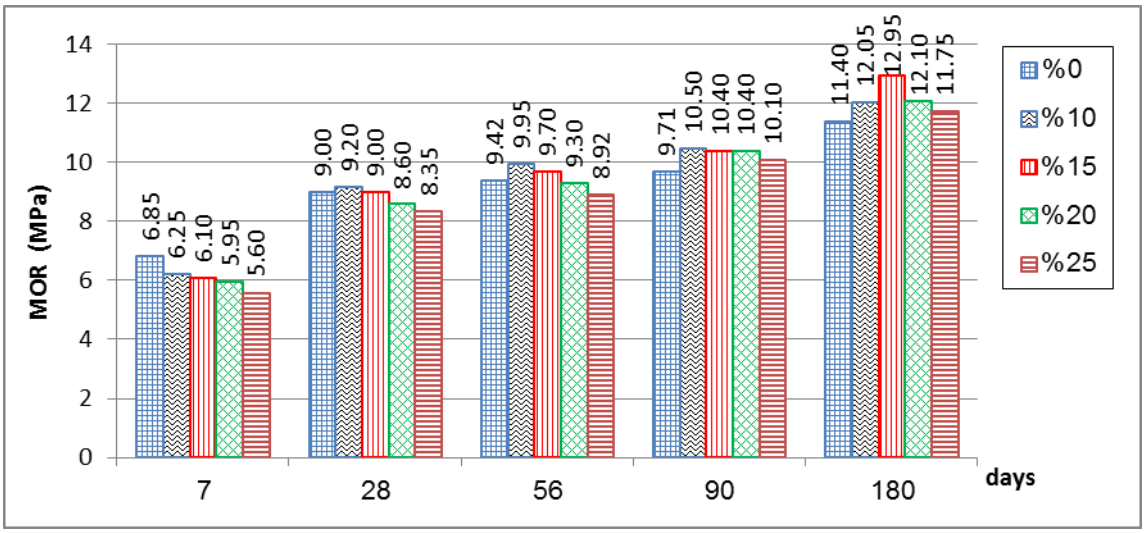
لتحديد أثر البوزولانا المستخدمة على الخصائص الميكانيكية للمادة تم قياس مقاومة الانحناء أو الشد بالانعطاف Flexure Strength ومراقبتها على مدى 180 يوم، كونها المعيار التصميمي الأهم لتقييم جودة عنصر نحيل كعناصر GRC كما أن نجاح عينات GRC بعمر 28 يوم بهذا الاختبار يعكس بنسبة 95% نجاحها باجتياز باقي المقاومات(GFRCA , 2016) & (NPCAA , 2006). تم اعتماد EN 1170-5 الموضح بالشكل(6) والمعتمد لقياس مقاومة الشد بالانعطاف لعينات GRC بأخذ قيمة وسطية لكسر3عينات بسرعة تطبيق حمولة 1.5مم/دقيقة، ومن ثم تم تحديد ما يعرف بدراسات GRC بحد الانهيار على الانحناء Moduls Of Rupture (MOR) وهو الاجهاد المقابل للحمولة الحدية المسببة للانهيار القيم موضحة بالشكل(7). تعتبر جميع المقاومات الناتجة بعمر28 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) أن استخدام البوزولانا أنقص المقاومة بعمر7 يوم من أجل جميع الاستبدالات المجربة، وأيضاً أنقص المقاومة بعمر 28 يوم من أجل استبدال 20% و 25% ويفسر ذلك بأن الفعل البوزولاني لا يزال غير فعال كفاية بهذا العمر لتعويض النقص الحاصل بروابط C-S-H الناجم عن حذف كمية من $C_3S$ وهذا المسؤول بشكل أساسي عن إنقاص المقاومات بأعمار مبكرة، كون أن إماهة المواد البوزولانية أبطأ من إماهة الكلنكر بسبب الطبيعية الكرستالية لمنرالاتها (Perraki , 2010) ولكن مع الوقت يزداد تأثير الفعل البوزولاني باستهلاك

البورتلانديت وتشكيل C-A-S-H & C-S-H جديدة، لذلك عادت وتحسنت مقاومات العينات الحاوية على البوزولانا لتصبح أعلى من العينة المرجعية اعتباراً من عمر 90 يوم من أجل جميع الاستبدالات (Itim , 2011) & (Alp , & 2009) (Raggiotti , 2015).




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

**الجدول (7) النسب المئوية لتحسن مقاومات الشد بالانعطاف**

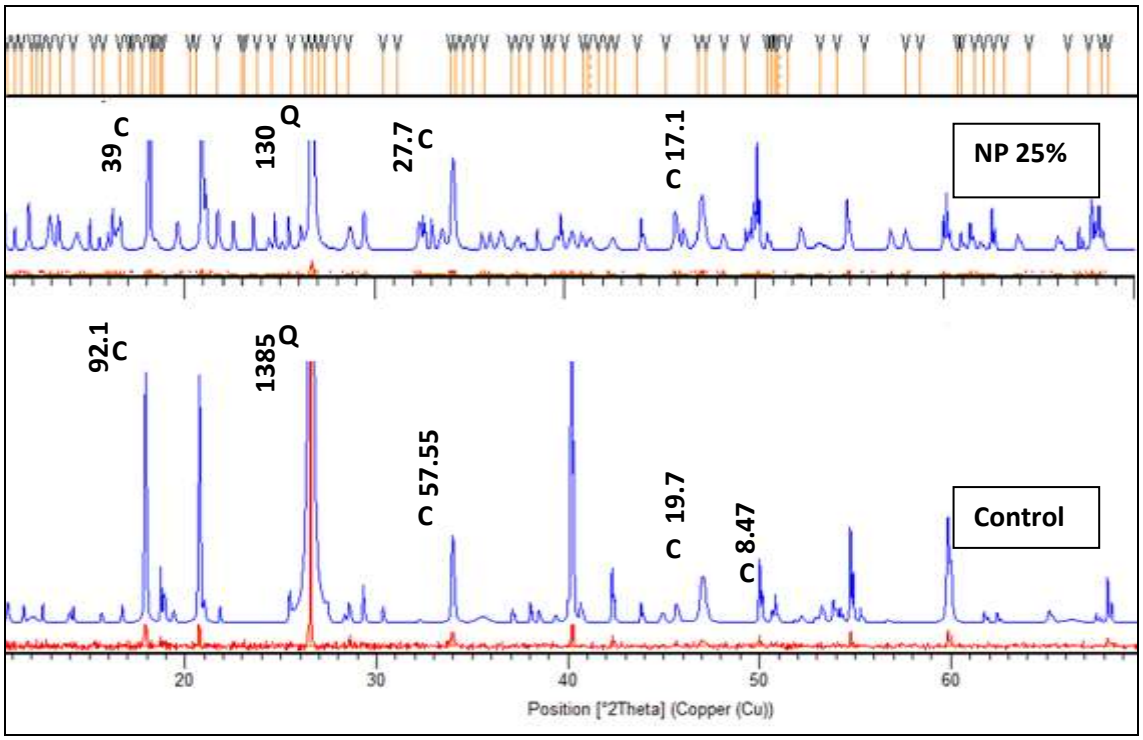
| النسب المئوية لنقصان المقاومات مقارنة بالعينة المرجعية من أجل أعمار مختلفة | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 25% | 20% | 15% | 10% | NP% |
| -18.25 | -13.14 | -10.95 | -8.76 | 7 day |
| -7.22 | -4.44 | 0.00 | 2.22 | 28 day |
| -5.28 | -1.22 | 3.03 | 5.68 | 56 day |
| 4.01 | 7.10 | 7.10 | 8.12 | 90 day |
| 3.07 | 6.14 | 13.60 | 5.70 | 180day |

## 3 تأثير البوزولانا على خصائص الديمومة:

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

### أولا": تأثير الالبوزولاناعلى محتوى االبورتلانديت وC-S-H & C-A-S-H gel:

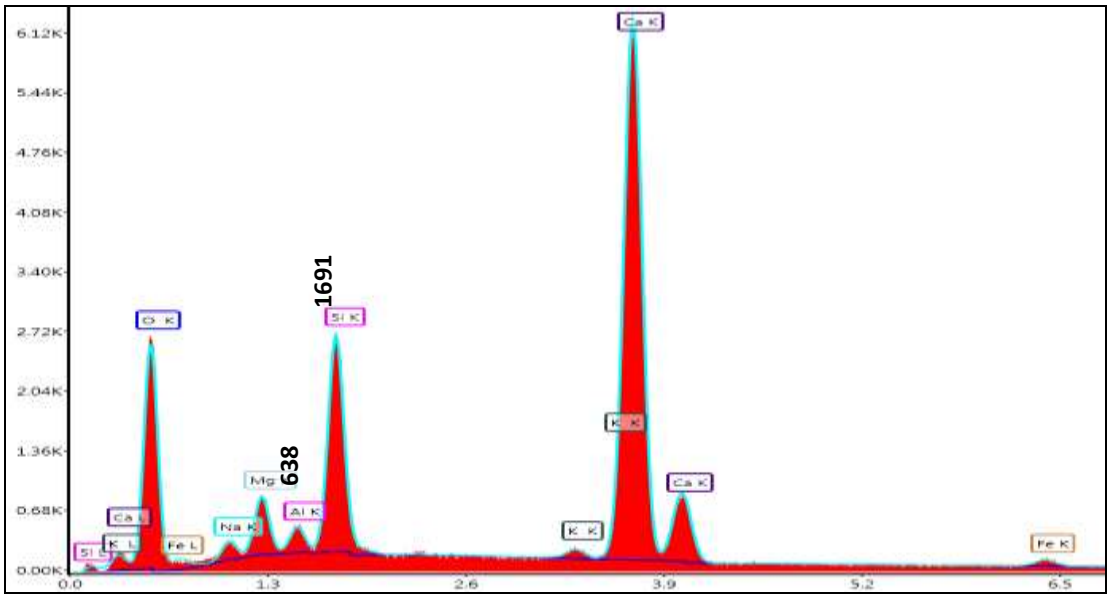
إن نقص محتوى $Ca(OH)_2$ سبب أساسي لتحسين ديمومة GRC ومؤشر لتقييم الأداء البوزولاني للبوزلانا المستخدمة، وللمقارنة تم إجراء تحليل منرالي للعينة المرجعية ومقارنته بالعينة المعدلة بالبوزولانا25% وذلك عند بعمر 360 يوم لضمان نضوج جيد للإماهة. تم ذلك باعتماد تقنية انعراج الأشعة السينية X-Ray Diffraction (XRD) بجهاز من نوع Philips بسرعة مسح 0.02°/ sce بمخابر المعهد العالي للبحوث العلمية بدمشق.



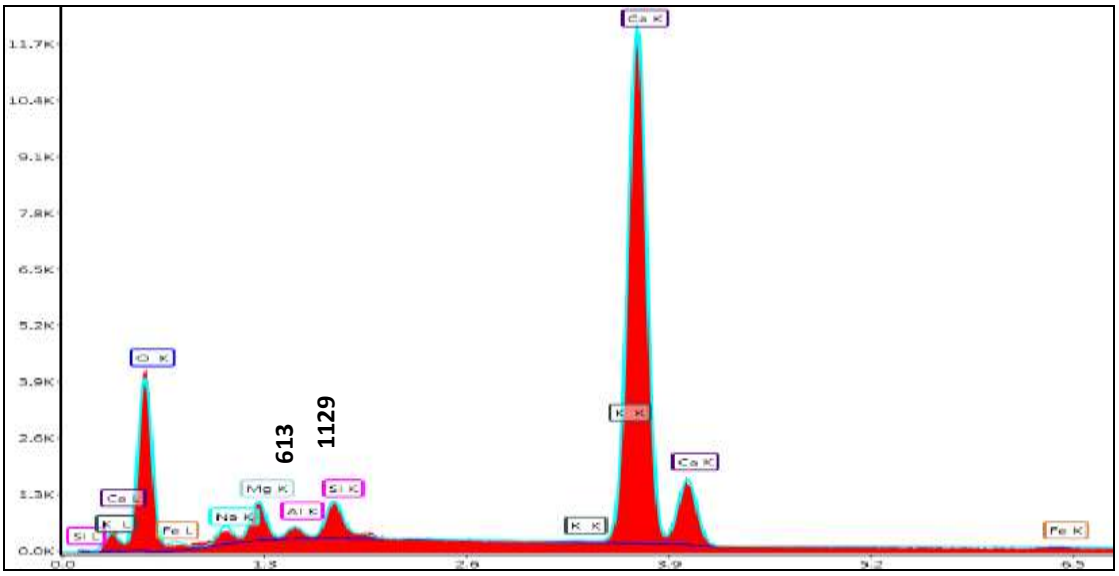

**الشكل(8) التحليل المنرالي XRD للعينة المرجعية و المعدلة بالبوزولانا25% بعمر360 يوم ($Ca(OH)_2$ = C , Quartz = Q)**

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

تم تحليل النتائج باستخدام برنامج X´Pert HighScore Pluse system والنتائج موضحة بالشكل (8) حيث نجد بالعينة المعدلة بالبوزولانا ظهور ذرى Peaks لمركبات إضافية جديدة تعود لتركيبة البوزولانا ومحتواه من المعادن الطينية وهذا يتوافق مع نتائج (Markiv , 2016)، 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 بالبوزولانا 25% من أجل جميع الذرى وهذا يدل على استهلاك البوزولانا للبورتلانديت، حيث بلغ النقص أوجه عند $2\Phi$ =18° & $2\Phi$ =34° حيث قلت الشدة من ( 92.1count ) إلى (39 count) ومن (57.55 count ) إلى (27.7 count) وبالحقيقة هاتان الزاويتان أهم الزوايا التي يلاحظ عندها$Ca(OH)_2$ (Fernandez , 2009).




**الشكل(9) المحتوى الذري للعينة المعدلة بالبوزولانا25% حسبEDX**




**الشكل(10) المحتوى الذري للعينة العينة المرجعية حسبEDX**

من المعروف أن زيادة 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 المقاومات والديمومة، وكلما كانت المنرالات الطينية كرستالية قلت فعاليتها بتشكيل هذه الروابط وتلعب بهذه الحالة دور الفلرfillre (Tydlitat , 2012).

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 بالبوزولانا 25% هي على التتالي 1691 & 638 count/sec – الشكل(9)– أعلى منها للعينة المرجعية 1129 & 613 count/sec – الشكل(10)– وهذا طبيعي بسبب احتواء البوزولانا المستخدمة 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 وهي °26.5=

$2\Phi$ حسب (Selected Pattern , PDF#033-1161) نجد الشدة بالعينة المعدلة بالبوزولانا هي فقط ( 130 count) مقارنة بالعينة المرجعية (1385 count) وبالتالي يمكن أن نستنتج ببساطة أن معظم منرالات البوزولانا لم تظهر بشكل كوارتز وإنما هي غير متبلورة Amorphous بشكل أكاسيد قادرة على الاتحاد بالبورتلانديت وتشكيل C-S-H & C-A-S-H إضافية وجعلها أكثر غزارة بالعينات الحاوية على البوزولانا وهذا ما ساعد على تحسن البنية الداخلية للخلطة والمقاومات والديمومة (Uzal , 2012).

## ثانياً: تأثير البوزولانا على الامتصاص والمسامية:

يعتبر نقص الامتصاص والمسامية من أهم مؤشرات الديمومة الجيدة، لذلك تم مراقبة الامتصاص والمسامية لمدة 180 يوم لتحديد أثر البوزولانا عليهما، بتطبيق EN 1170-6 المعتمد لقياس الامتصاص والمسامية لعينات GRC 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:

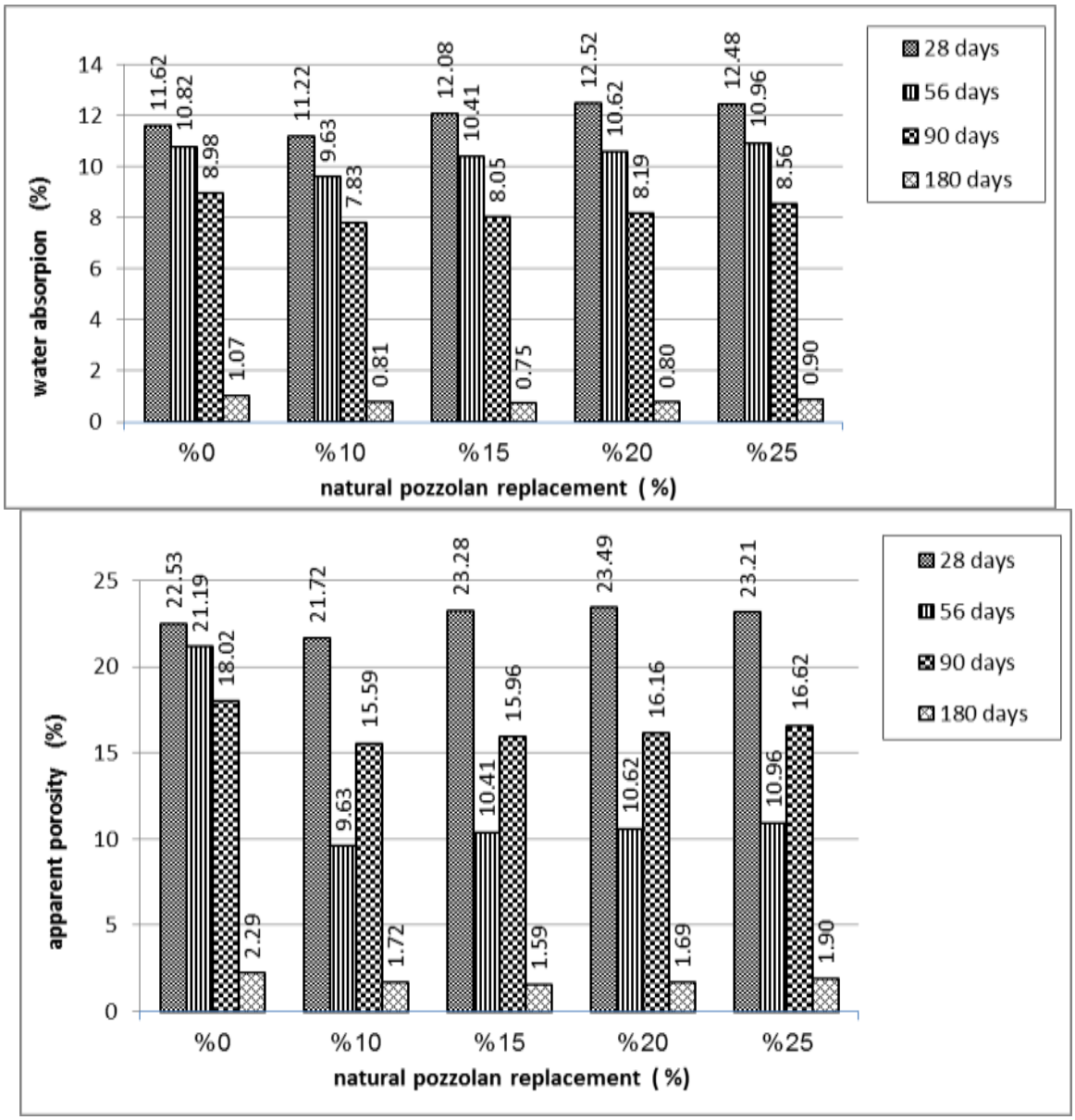
$$apparent\ porosity\ (\%\ by\ volum) = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} * 100$$

$$water\ absorption\ (\%\ by\ weight) = \frac{M2 - M3}{M3} * 100$$

**الجدول (8) تحسن الامتصاص والمسامية مقارنة بالعينة المرجعية لجميع الخلطات حتى 180 يوم**

| النسب المئوية لتحسن الامتصاص | | | | النسب المئوية لتحسن المسامية | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25% | 20% | 15% | 10% | 25% | 20% | 15% | 10% | |
| -7.37 | -7.78 | -3.92 | 3.48 | -3.01 | -4.25 | -3.33 | 3.59 | 28 day |
| -1.29 | 1.82 | 3.77 | 10.96 | 2.01 | 3.16 | 4.60 | 10.84 | 56 day |
| 4.64 | 8.75 | 10.31 | 12.82 | 7.75 | 10.29 | 11.43 | 13.48 | 90 day |
| 15.37 | 24.93 | 29.46 | 24.23 | 17.16 | 26.25 | 30.34 | 24.93 | 180day |

والنتائج الموضحة بالشكل(11) والجدول(8) تظهر أن استخدام البوزولانا زاد الامتصاص والمسامية قليلاً بعمر 28 يوم بسبب طبيعتها المسامية ونعومتها ومساحة سطحها النوعي الكبير، ولكن مع الوقت تبدأ هذه البوزولانا بالتفاعل مع البورتلانديت وتشكيل روابط C-S-H & C-A-S-H gel إضافية التي من شأنها أن تحسن الاكتناز وتشكل ما يشبه غشاء Membrane عائق يسد الفراغات ويقلل نفاذية الماء ويقلل الامتصاص (Guneyis, 2008) وهذا يتوافق مع نتائج (Markiv , 2016) & (Raggiotti , 2015).




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

## ثالثاً: تأثير البوزولانا على النقص الحاصل مع الزمن للخصائص الأولية لمادة GRC:

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 المهتمة 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 بحرارة $50^{\circ}C$:

اعتمدت معظم الدراسات المهتمة بديمومة مادة GRC على أسلوب الغمر بالماء الساخن لعينات GRC كونها طريقة معالجة لتسريع الإماهة أي تسريع شيخوخة GRC وهذاما يعرف بـ GRC Accelerated Aging وبالتالي 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 بعد غمرها بحمامات الماء الساخن أقل بكثير من نقص مقاومة العينات الحاوية على ألياف زجاجية بعد غمرها بالحمام الساخن، وذلك بسبب تآكل وتلف الألياف نتيجة القلوية العالية الناجمة عن طرح أكبر للبورتلانديت عند تسريع الاماهة 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 بحيث تحاكي الأجواء الطبيعية فيه، وكثيرة هي الأبحاث التي اهتمت بتحديدهما ولكن ويعتبر نموذج (Litherland , 1981) أساسياً ورائداً في هذا المجال وعمم استخدامه في الكثير من الدراسات المهتمة بديمومة GRC حيث قام بغمر عدد كبير من العينات بدرجات حرارة مختلفة حتى $80^{\circ}$ C وقارن تدهور مقاوماتها مع تدهور مقاومات عينات متروكة لعشرات السنين بالأجواء الطبيعية لبلدان كثيرة حول العالم، فتوصل إلى أن غمر عينات GRC بدرجات حرارة عالية يلائم فقط البيئات الاستوائية كونه يحدث هبوط حاد بالمقاومات، أما الغمر بدرجة حرارة $50^{\circ}$ C يلائم الكثير من المناخات حول العالم كما ويحدث هبوطاً تدريجياً بالمقاومات يحاكي التدهور الحاصل لها بالأجواء الطبيعية، ويفترض النموذج أن غمر عينات GRC بدرجة $50^{\circ}$ C مدة 150 يوم يعادل بقائها حوالي 50 عام بالأجواء الطبيعية لمناخات عديدة. لذلك وبعد أن حفظت عينات GRC 28 يوم تم غمرها بحمام ماء ساخن $50^{\circ}$ C مدة 150 يوم ومن ثم إخضاعها لاختبار BS EN 1170-5 بعد وضعها 24 ساعة بالشروط النظامية فور نزعها من الحمام الساخن، هذا الاختبار يساعد على التنبؤ بأدائها بعد ما يعادل 50 سنة بالأجواء الطبيعية (Litherland , 1981).

**الجدول (3-17) نسبة تناقص المقاومات للعينات المعدلة بالبوزولانا والعينة المرجعية خلال فترات الغمر بالحمام الساخن**

| NP % | المقاومات قبل الغمر (MPa) | المقاومات بعد 28 يوم غمر (MPa) | المقاومات بعد 56 يوم غمر (MPa) | المقاومات بعدالغمر 150 يوم غمر (MPa) | نسب تناقص المقاومات بعد28 يوم غمر % | نسب تناقص المقاومات بعد 56 يوم غمر % | نسب تناقص المقاومات بعد 150 يوم غمر % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0% | 9 | 7.56 | 7.18 | 6.85 | -16.00 | -20.20 | -23.87 |
| 10% | 9.20 | 9.06 | 8.88 | 8.70 | -1.50 | -3.47 | -5.40 |
| 15% | 9.00 | 8.87 | 8.70 | 8.59 | -1.41 | -3.38 | -4.54 |
| 20% | 8.60 | 8.47 | 8.38 | 8.29 | -1.50 | -2.59 | -3.57 |
| 25% | 8.35 | 8.31 | 8.23 | 8.22 | -0.50 | -1.50 | -1.59 |

يتضح من الجدول (9) الدور البارز للبوزولانا بتحسين أداء المادة مع الزمن، حيث يؤكد (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 كثافة وقدرة على منح مقاومات أعلى.

### b) حلقات التجفيف – ترطيب حسب EN 1170-8:

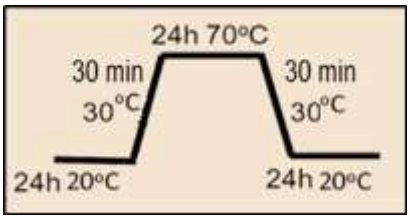
بعد أن وصلت العينات لعمر 28 يوم تم تعريضها لاختبار الديمومة تجاه الطقس المعتمد لعينات GRC حسب EN 1170-8 وهي تعرف بـ Climatic Cycles من خلال تعريضها ل 25 حلقة تجفيف – ترطيب مدة كل حلقة 48 ساعة، كما يوضح الشكل(12) ثم تعريضها لاختبار الشد بالانعطاف حسب 5-1170. والنتائج موضحة بالجدول(10) حيث يظهر دور البوزولانا 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 بالبوزولانا وعاقت نفاذية الماء وحسنت المقاومات وشكلت مايشبه غشاء Membrane عاق نفاذية الماء (Markiv , 2016).

**ترطيب–الجدول (10) نتائج حلقات التجفيف– ترطيب**

| النسب المئوية لتحسن المقاومات بعد تعريضها لحلقات التجفيف – ترطيب | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 25% | 20% | 15% | 10% | %0 | |
| 8.27 | 8.41 | 8.48 | 8.91 | 7.65 | المقاومات MPa |
| 8.17 | 9.95 | 10.82 | 16.41 | | نسب التحسن % |

**الشكل(12) حلقات التجفيف**



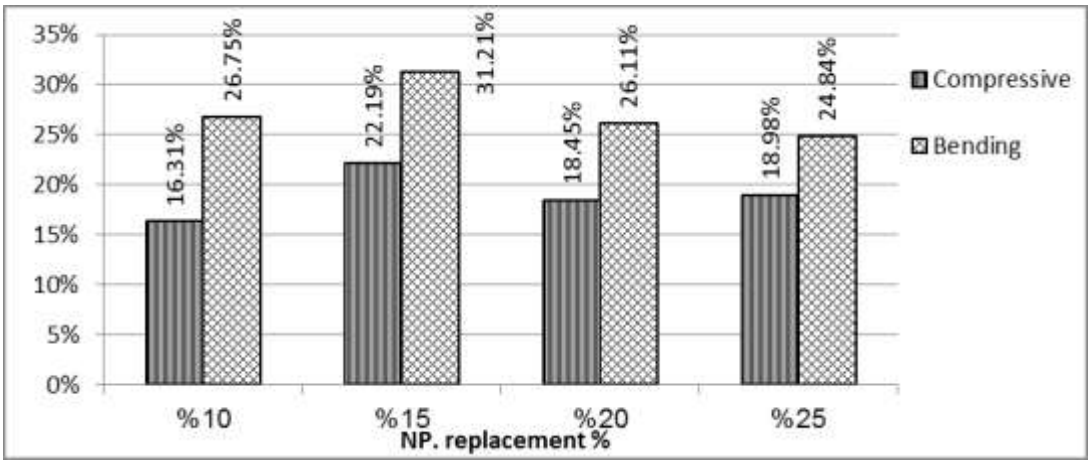

## رابعاً: تأثير البوزولاناعلى مقاومة الكبريتات:

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، وعندما بلغت 28 يوم تم غمرها بمحلول كبريتات الصوديوم $Na_2SO_4$ بتركيز 5% مدة 60 يوم وتم تبديل المحلول كل أسبوعين مرة (Demir , 2011) وذلك لتحديد دور البوزولانا في زيادة مقاومة الكبريتات كونها معيار أساسي لتقييم أداؤه البوزولاني هذا من جهة، ومن جهة أخرى كون مادة GRC تستخدم بشكل كبير كقنوات للصرف أو كواجهات خارجية في بيئات قاسية كالبيئات البحرية، وبكلتا 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 $C_3A$ الموجود بالاسمنت ليتشكل الاترنيغايت Ettringite وفق المعادلة(2) (Demir , 2011):

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + 2NaOH \quad (1)$$

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

يسبب الاترنيغايت 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 بالبوزولانا مقارنة بالعينة المرجعية بعد غمرها بالكبريتات مدة 60 يوم موضحة بالشكل(13)

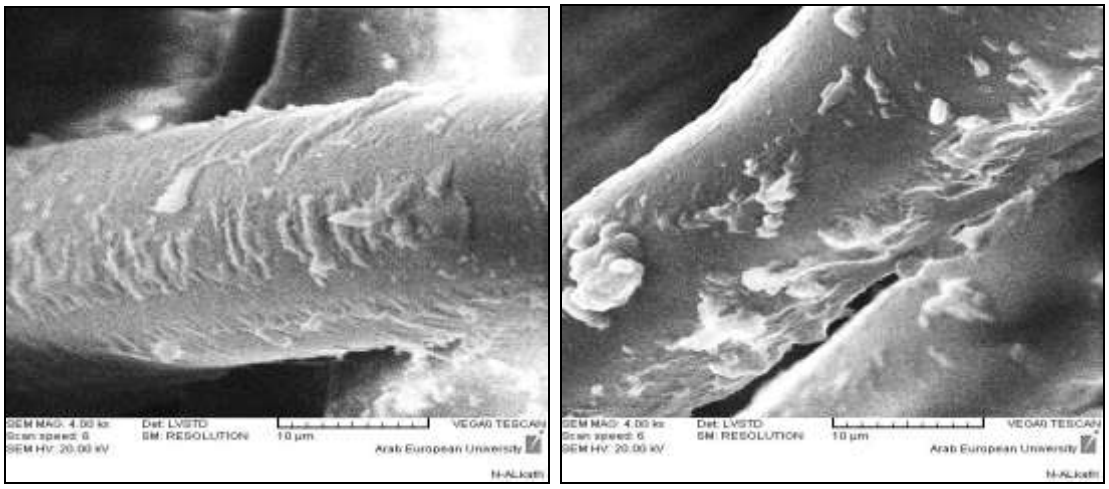



**الشكل (13) نسب تحسن مقاومات الضغط والانحناء للعينات المغمورة بالكبريتات**

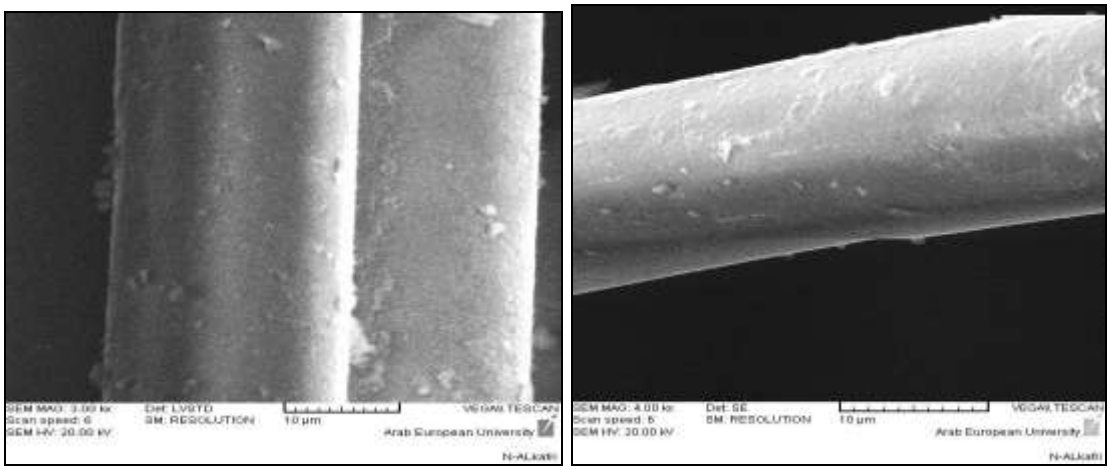
من الشكل السابق نلاحظ أن العينات المعدلة بالبوزولانا كانت مقاومتها أعلى لهجمات الكبريتات من العينة العينة المرجعية، وذلك بفضل الفعل البوزولاني باستهلاك كمية أكبر من البورتلانديت وبالتالي التقليل من كمية الجبس المتشكل، أضف لأن حذف نسبة من الاسمنت يعني حذف نسبة من $C_3A$ كل ما سبق قلل كمية الاترنغايت المتشكل، هذا بالاضافة لزيادة روابط C-S-H و C-A-S-H التي ملأت الفراغات والمسام وعاقت نفاذية الكبريتات. حيث كان من المتوقع أن نحصل على نسب تحسن أكبر فيما لو أطلنا فترة الغمر وهذا يتوافق مع & (Dipayan, 2007) .(Merida , 2015) & (Ghrici , 2007)

## 4- الدراسة المجهرية:

أكدت الدراسة بالمجهر الالكتروني Scanning Electron Microscopy (SEM) بجهاز من نوع VEGA II Xmu موجود بمخابر الهيئة العامة للطاقة الذرية بدمشق، ماتوصلنا له بالدور الفعال للبوزولانا بانقاص البورتلانديت وبالتالي تقليل PH الخلطة ولهذا أهمية إضافية بخلطة GRC الغنية بالاسمنت، حيث نلاحظ من صور العينات المسرعة الشيخوخة بغمرها بحمامات الماء الساخن مدة 150 يوم، أن تآكل وتهتك الألياف بالعينة المرجعية – الشكل(14)– أقل بشكل واضح من ألياف من تهتك الألياف بالخلطة المعدلة بالبوزولانا – الشكل (15)




**الشكل (14) صور بالمجهر الالكتروني لألياف من العينة المرجعية**




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

## الاستنتاجات والتوصيات:

تم من خلال هذه الدراسة تصنيع ألواح GRC والعمل على تحسين ديمومة الألياف من خلال تعديل البنية الداخلية للخلطة باستخدام نسب 10%–15%– 20%– 25% من بوزولانا تل شيحان، ويمكن تلخيص النتائج بالتالي :

1- أعطى منتج GRC المصنع بإحضارات محلية واسمنت وطني مقاومات مقبولة بالنسبة لمنتج مصنع بأسلوب المزج Premix وبنسبة S/C=1 ونسبة ألياف 3% وتلبي الكثير من الوظائف والاستخدامات.

2- إن البوزولانا المستخدمة تعتبر مادة بوزولانية جيدة حققت متطلبات ASTM C618.

3- قللت البوزولانا المستخدمة قابلية تشغيل الخلطة بشكل بسيط ما اضطرنا لزيادة الملدن قليلاً.

4- أنقصت البوزولانا المستخدمة مقاومة الشد بالانعطاف بعمر7يوم من أجل جميع نسب الاستبدال المجربة، وأيضاً بعمر28 يوم من أجل استبدال 20% و25% ولكن عادت وتحسنت المقاومات مع الوقت، وأصبحت معظمها أعلى من العينة المرجعية عند عمر 90 يوم من أجل جميع الاستبدالات.

5- حسنت البوزولانا المستخدمة 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.
- تحسين أداء المادة تجاه نقص الخصائص الحاصل مع الزمن، حيث كان نقص المقاومة نتيجة حلقات التجفيف – ترطيب أقل بالعينات المعدلة بالبوزولانا مقارنة بالعينة المرجعية، وكذلك نقص المقاومة نتيجة الغمر بالحمام المائي الساخن °50 أقل بالعينات المعدلة بالبوزولانا مقارنة بالعينة المرجعية.
- تقليل الامتصاص والمسامية.
- تحسن مقاومة الكبريتات.
- تقليل تآكل وتهتك الألياف الذي ظهر واضحاً بصور المجهر الاكتروني SEM.

**ويمكن أن نوصي بالتالي:**

- امكانية استخدام بوزولانا تل شيحان بصناعة GRC لأغراض تحسين ديمومة المادة، والتقليل من استهلاك الاسمنت لما لذلك من أهمية بيئية واقتصادية.
- دراسة أثر البوزولانا مع خلطة GRC على نقاط أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية كخصائص الانكماش أو مقاومة الأحماض والقلويات أو نفاذية الكلوريدات مثلاً.

## المراجع:

**1-** ABOUBAKAR, M. and et al. *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, 2014, 79-84.

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

**3-** ACI Committee 232. 1R. *Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete.* American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001, 24.

**4-** ACI Committee 544.5R-10. *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete.* American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan , 2010, 35.

**5-** AISSA, T. *The Influence of Natural Pozzolan Content on Durability of High Performance Concrete*, 6th SASTech Conference in Khavaran Institute of Higher Education, Kuala Lumpur, Malaysia, 24-25 March, 2012, 1-8.

**6-** ALP, I. and et al. *Pozzolanic characteristics of a natural raw material for use in blended cement*, Iranian Journal of Science & Technology, Vol. 33, No. 4, 2009, 291-300.

**7-** ASTM C494. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. American Society of Testing and Materials*, American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, 2014,1-9.

**8-** 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, 1-3.

**9-** BENTUR, A. and 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.

**10-** 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.

**11-** CEM-FIL International Ltd. *Cem-FIL GRC Technical Data*. Vetrotex, UK, 1998,91.

**12-** CEM-FIL International Ltd. *Guide to Premix Manufacture*. Vetrotex, UK, 2009, 20.

**13-** CUI, Y. and et al.* *The influence of component change of raw materials on GRC durability*. 15th International GRCA Congress, Beijing, China, 2008, 1-10 .

**14-** CUI, Y. and et al. *Influence of siliceous material on durability of GRC based on Portland cement.* 15th International GRCA Congress, Beijing, China, 2008, 16-29.

**15-** DEGUTIERREZ, Z. and et al. *Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars*. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, 593-598.

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

**17-** DIPAYAN, J. and et al. *A new look to an old pozzolan: Clinoptilolite - A promising pozzolan in concrete.* Proceeding of the twenty-ninth conference on cement microscopy Quebec city, MAY 20 -24, 2007, 168-206.

**18-** EN 1170 parts 1-8 European committee for Standardization. *precast concrete products: test methods for glass-fiber reinforced cement*, Bruxelles, 1998.

**19-** ENFEDAQUE, A. and 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.

**20-** EZZIANE, K. and et al. *Analysis of Mortar Long-Term Strength with Supplementary Cementitious Materials Cured at Different Temperatures*. ACI Materials Journal, July-August, 2010, 323-331.

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

**22-** GENOVES, V. and et al. *Ultrasonic characterization of GRC with high percentage of fly ash substitution*. UltrasoniNP, Vol. 60, 2015, 88–95.

**23-** GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association. *Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products*. 2nd ed., Blackwater, UK, 2006, 12.

**24-** GFRCA International Glass fibre Reinforced Concrete Association. *Methods of Testing Glassfibre Reinforced Concrete (GRC) Material*. Blackwater, UK, 2016, 20.

**25-** GHRICI, M. and et al. *Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cement*, Cement & Concrete Composites, Vol. 29, 2007, 542–549.
**26-** GUNEYIS, E. *Improving strength, drying shrinkage, and pore structure of concrete using metakaolin*. Materials and Structures, Vol. 41, 2008, 937–94.
**27-** HAREL, S. *Glass Fiber Reinforced Concrete & Its Properties*. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, Vol. 3, No. 1, 2014, 118-120.
**28-** HO, Y. ؛ LEE, C. *Weathering effects on the manufacturing process of GRC material*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 31, No. 2, 2008, 241-246.
**29-** HUIJUN, W. and et al. *Damage Action of Alkali-resistant Glass Fiber in Cement-based Material.* Journal of Wuhan University of Technology-Material Scinces, August, 2013, 761-765.
**30-** KHAN, I. ؛ ALHOZIMY, M. *Properties of natural pozzolan and its potential utilization in environmental friendly concrete*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 38, No. 1, 2011, 71-78.
**31-** 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.
**32-** MALAMATENIA, S. *Experimental Study Of Glass Fiber Reinforced Mortar By Variable Percentage Of Fibers With Marble Aggregates.* MSc thesis, Kingston University, 2007, 55.
**33-** MALHOTRA, M. and 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, 30.
**34-** MARKIV, T. and et al. *Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite*, archives of civil and mechanical engineering , Vol. 6 , 2016, 554-562.
**35-** MERIDA, A. and et al. *Durability of High Performance Concrete in an Aggressive Environment, Key Engineering Materials*, Vol. 600, 2014, 485-494.
**36-** MERIDA, A. and et al. *Measure of the Chloride Permeability of the Pozzolana Concrete in Sulphate Middle*, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 195, 2015, 2668-2674.
**37-** MEYER, C. *The greening of the concrete industry*. Cement and Concrete Composites, Vol. 31, 2009, 601–605.
**38-** MILOVIC, T. and et al. *Influence of natural Zeolit on some properties of morter/concrete*, International conference Contemporary achievements in civil engineering, 24. April, Subotica, SERBIA, 2015, 61-66.
**39-** NAJIMI, J. *An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan*, Construction and Building Materials, Vol. 35, 2012, 1023–1033.
**40-** NPCAA National Precast Concrete Association Australia. *Design, Manufacture and Installation of Glass Reinforced Concrete (GRC).* 3th ed., TechMedia, 2006, 92.
**41-** PELED, A. *Effect of matrix modification on durability of glass fiber reinforced cement composites*. Materials and Structures, Vol. 38, No. 2, 2005, 163-171.
**42-** PERRAKI, I. and et al. *The effect of zeolite on the properties and hydration of blended cements*, Cement and Concrete Composites, Vol. 32, No. 2, 2010, 128-133.

**43-** PURNELL, P. ؛ BEDDOWS, J. *Durability and simulated ageing of new matrix fibre reinforced concrete.* Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, 75–884.
**44-** PURNELL, P. and et al. *Microstructural in New Matrix Glass Fibre Reinforced Cement.* Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 11, 2010, 1747-1753.
**45-** RABEHI, B. and 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.
**46-** RAFIZA, A. and et al. *Comparison of original and sintered LUSI Mud volcano as Geopolymer Material.* Advanced Science Letters, Vol. 19, No. 1, 2012, 174-178.
**47-** SABET, F. *Mechanical and durability properties of self-consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash*, Construction and Building Materials, Vol. 44 , 2013, 175–184.
**48-** 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.
**49-** RAGGIOTTI, B. and et al. *Zeolite, Study of Aptitude as a Natural Pozzolan Applied to Structural Concrete*, Revista de la Construcción, Vol. 14, No. 2, 2015, 14-20.
**50-** SUJIVORAKUL, C. ؛ JATURAPITAKKUL, C. *Effect of Metakaolin &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·
**51-** TERREZA, M. and et al. *Portland blended cements: demolition ceramic waste management*. Materials DE Construction, Vol. 67, No. 325, 2017, 114-119.
**52-** TYDLITAT, V. *Hydration Heat Development in Blended Cements Containing Fine-ground CeramiNP*. Thermochimica Acta, Vol. 543, 2012, 125 – 129.
**53-** UZAL, B. ؛ TURANLI, I. *Blended cements containing high volume of natural zeolites: properties, hydration and paste microstructure,* Cement and Concrete Composites, Vol. 34 , 2012, 101–109.
**54-** خيربك، علي ؛ جبيلي، نسرين. *دارسة تأثير استبدال حصويات المونة بالبوزولانا الطبيعية على خصائصها الطرية والصلبة*، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (36)، العدد (1)، 2014، 145-157.