مجلة ديالى
للعلوم
الهندسية

ISSN 1999 - 8716

المجلد السابع، العدد الرابع، صفحات البحث (27-36)، كانون الأول 2014

استخدام البكتريا في معالجة التشققات في الكونكريت

عامر محمد ابراهيم [1]، عدنان نعمة عبد الرضا [2]، مروج محمد صناع [3]

[1] استاذ، كلية الهندسة، [2] استاذ، [3] باحث، كلية التربية للعلوم الصرفة / جامعة ديالى

(الاستلام:-2013/8/15، القبول:- 2013/10/20)

الخلاصة

ان الهدف من هذه الدراسة هو المعالجة الذاتية لشقوق الخرسانة باستخدام البكتريا، وتعتبر هذه الدراسة هي الاولى من نوعها في العـراق. استخدمت في هذه الدراسة بكتريا Bacillus Subtilis المعزولة من التربة الزراعية والتربة الجافة، وتمت عملية زراعتها وتنميتها في الوسط الانتقائي SR-20، اجريت الاختبارات الكيموحيوية وتشخيص البكتريا وفقا لما ورد في(Bergys Manual &Medical Bacteria)، حيث اجريت الاختبارات المختبرية الاولية لمعرفة قدرة هذه البكتريا على معالجة التشققات الخرسانية من حيث قدرتها على تحمل العوامل الموجودة في قالب الخرسانة ومنها الاس الهيدروجيني القاعدي وذلك من خلال تنميتها في الوسط الانتقائي SR-20 ذو الاس الهيدروجيني القاعدي (pH=10)، وتحملها للملوحة عند زراعتها في وسط الترسيب SM-7 المحتوي على كلوريد الكالسيوم، ايضا تم اجراء اختبارات تحضير مادة علاج الشقوق من اجل ترسيب بلورات كاربونات الكالسيوم.

اظهرت نتائج اختبار الموجات الفوق الصوتية الاختلاف في الوقت الذي تستغرقه الموجة للمرور عبر الشقوق غير المعالجة والوقت الذي تستغرقه الموجة للشقوق المعالجة، حيث اظهرت النتائج ان مادة علاج الشقوق المكونة من السيليكا + معلق بكتيري كانت متصلبة بشكل كامل وحدوث نقصان في وقت انتقال الموجة الصوتية عبر الشقوق المعالجة.

اظهرت نتائج البحث انه كلما كان عمق الشق وعرضه صغير كانت عملية المعالجة افضل، حيث ان عملية المعالجة كانت افضل في النماذج الخرسانية ذات عرض شق (1ملم) مقارنة للنماذج ذات العرض (2ملم)، اما من ناحية العمق فقد اظهرت النتائج ان عملية المعالجة كانت افضل لعمق شق (10ملم) مقارنة للنماذج ذات العمق (20ملم) و (30ملم). كما اظهرت نتائج اختبار الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) تكون كاربونات الكالسيوم لمادة علاج الشقوق المكونة من السيليكا + بكتريا.

الكلمات الدالة: بكتريا Bacillus Subtilis، العلاج الذاتي Self-Healing، كاربونات الكالسيوم Calcium Carbonate

المقدمة

ان ظهور الشقوق (Cracks) في الخرسانة (Concrete) يعد عيباً، اذ يؤثر على متانتها وتحملها للظروف الخارجية، بسبب الاختلاف في درجات الحرارة (temperature gradiant)، و الانكماشات المقيدة (confined shrinkage). (Belie et al.,2009).

إن الشقوق الدقيقة (Microcrack) يكون تأثيرها اكبر من الشقوق الكبيرة، اذ تؤثر على خصائص قوة البناء، وتعمل على جعل الخرسانة (concrete) اكثر مسامية , وقابلية نفاذية اكبر لدخول الكيماويات المؤذية مثل الكلوريد، كبريتات، والاحماض المتراكمة لفترات طويلة والتي تسبب في تكسير وتشويهه الخرسانة يرافقها حدوث تآكل للفولاذ الموجود داخل الخرسانة , مما يؤدي من تقليل متانة الخرسانة. (Jonkers,2011).

لمواجهة مشاكل عيوب الخرسانة، هناك وسائل حيوية مثل (استخدام البكتريا في معالجة الشقوق بالخرسانة) وهي تقنية مبدئها انتاج املاح معدنية مثل كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ اثناء المسار الايضي للبكتريا في تلك البيئة (Jonkers,2011). من اجل تطوير صناعة الخرسانة كالسرعة في التشييد, القوة والمتانة من خلال استخدام البكتريا ذات القدرة على استغلال احدى المركبات الداخلة في تركيب خلطة الخرسانة مثل السليكا، حيث تحولها الى رواسب تملأ بها الفراغات (الشقوق)، ويطلق على هذا الفعل او العمل بالتمعدن الحيوي (Biomineralization). تحدث هذه العملية داخل الخلية البكتيرية او خارجها ,حيث ان نشاط البكتريا يحدث تغيرات في المحاليل الكيمائية ذات المستوى العالي من املاح الكالسيوم (حد الاشباع) مما يؤدي الى ترسيب كربونات الكالسيوم CaCo3 بوصفه ناتجا ايضيا. ينتج عن هذا السلوك الأيضي خرسانة تتميز بمواصفات عالية الجودة يطلق عليها الخرسانة المعالجة باستخدام البكتريا (Bacterial Concrete). (Sunnil,2010).

هدف الدراسة

1. تشخيص البكتريا المكونة لسبورات Bacillus subtilis من التربة الجافة والزراعية .
2. معالجة الشقوق في الخرسانة ومنع تآكلها بسبب تأثير العوامل البيئية (الماء، وثاني اوكسيد الكاربون، والكيمياويات).
3. متابعة عمل البكتريا في معالجة الشقوق باستخدام جهاز قياس الموجات فوق الصوتية والمجهر الالكتروني الماسح.

البكتريا المستخدمة في البحث والبرنامج العملي

البكتريا: ان قالب الخرسانة يكون ذو قاعدية عالية , لذا فان البكتريا المستخدمة في هذا البحث يجب ان تكون بكتريا محبة للقاعدية العالية , مكونة للسبورات , وهوائية , والبكتريا التي تم استخدامها هي من نوع Bacillus Subtilis والمعزولة من التربة الجافة. تمت زراعة البكتريا على الوسط الانتقائي السائل (SR–20) والمحضر بإضافة (5g) من ماء الببتون (Peptone water) ، (3g) من المرق المغذي (Nutrient broth) ، (0.42g) بيكاربونات الصوديوم (NaHCO3)، (0.53g) كاربونات الصوديوم (Na2CO3) ، (1000ml) ماء مقطر، مع ضبط الأس الهيدروجيني (pH=10). بعد ظهور النمو البكتيري تم اجراء الفحوصات المظهرية والمختبرية وفقا لما ورد في Cawon and Steel, (1993) و (Bergys Manual, 1974).

نماذج الخرسانة: تم اعداد نماذج المواشير الخرسانية باستخدام سمنت بورتلاند , وتألفت الخلطة من مواد هي (حصى، ورمل، واسمنت، وماء), الجدول رقم (1) يوضح المواد المؤلفة للخلطة الخرسانية. ان القوالب التي تم استخدامها تراوحت ابعادها (الطول 50سم × العرض 10سم × الارتفاع 10سم).

تكوين الشقوق: تم تكوين الشقوق في قالب الخرسانة باستخدام شريحة زجاجية بأبعاد وعرض محدد مسبقا اذ وضعت الشريحة الزجاجية في نموذج الخرسانة بعد صبها في القالب, وتم ازالة هذه الشريحة بعد (24) ساعة على تصلب نموذج الخرسانة اذ ينتج قالب خرساني بأخدود ضيق (narrow groove) على السطح العلوي للنموذج.

تحضير وسط الترسيب SM-7 لترسيب كاربونات الكالسيوم: حضر وسط (SM-7) باضافة (3.25g) مرق مغذي(Nutreint broth) ,و (0.25g) كلوريد الكالسيوم ,و (6.99g) يوريا , و (250ml) ماء مقطر. مع ضبط الأس الهيدروجيني (pH=10), حضن الوسط المزروع بالعزلة البكتيرية بدرجة حرارة (30˚c) لمدة (24) ساعة.

تحضير مادة علاج الشقوق الخرسانية: حضرت المادة باضافة السيليكا بنسبة (10مل) , مع اضافة (1مل) من وسط الترسيب والمزروع بعينة البكتريا ومزجها جيدا , بعدها حقن المزيج باستخدام Syring داخل الشقوق الخرسانية , وتكرر عملية الحقن حتى يمتلأ الشق بالكامل , بعدها تركت القوالب المعالجة بدرجة حرارة الغرفة من اجل اتمام عملية علاج الشقوق.

استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية لمتابعة عمل البكتريا واتمام عملية العلاج الذاتي

ان الغرض من اختبالا الموجات فوق الصوتية هو لتحديد تأثير التقنيات المستخدمة لعلاج الشقوق على انتشار الموجات خلال نموذج الخرسانة (Kim, 2010). اجري قياس الموجات فوق الصوتية قبل وبعد عملية المعالجة , حيث تم وضع اقطاب الجهاز على جانبي الشق بمقدار (5سم , 10سم) , ايضا اخذت القياسات من على جوانب النموذج الخرساني.

استخدام المجهر الالكتروني الماسح

اجري الفحص بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) وذلك للتأكد من تكون مادة كاربونات الكالسيوم داخل الشقوق المعالجة، وتم الفحص بكسر جزء صغير من مادة العلاج المتصلبة داخل الشقوق ومن ثم فحصها بالمجهر الالكتروني.

المناقشة والنتائج

عزل وتشخيص البكتريا

العزل: تم اخذ عزلة من بكتريا Bacillus Subtilis معزولة من التربة الزراعية والتربة الجافة، اذ استخدم الوسط الانتقائي SR-20 السائل لزراعة هذه العينة، ثم نميت بعد ذلك على الوسط الانتقائي SR-20 الصلب لغرض تنقيتها، وتم التأكد من تشخيص العزلة من خلال الاختبارات المجهرية، والزرعية، والكيمو حيوية.

التشخيص: شخصت عزلة بكتريا Bacillus Subtilis بالاعتماد على صفاتها المظهرية والاختبارات المجهرية والكيموحيوية كما موضح في الجدول (2).

نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية

بعد اجراء تطبيق معالجة الشقوق الخرسانية بمادة السيليكا الممزوجة مع محلول المعلق البكتيري. وبعد تصلب المادة العلاجية وختم الشقوق بالكامل، اجري اختبار الموجات فوق الصوتية حيث اظهرت نتائج الاختبار ان الزمن الذي تستغرقه الموجة الصوتية لتنتقل عبر الشق المختوم كان اقصر من الزمن الذي تستغرقه الموجة الصوتية لتنتقل عبر الشق غير المختوم، وهذا يدل على ايجابية عملية المعالجة. كما موضح في الشكل رقم (1) والذي يبين مقارنة الاختلاف بين النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق10ملم/ عرض2ملم) مع النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق10ملم/

عرض1ملم) وعلى مدى قراءتين قبل المعالجة وبعدها. والشكل رقم (2) يبين مقارنة الاختلاف بين النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق 20ملم/2ملم) مع النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق 20ملم/1ملم). يبين الشكل رقم (3) مقارنة الاختلاف بين النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق 30ملم/2ملم) مع النموذج الخرساني ذي الشق الواحد (عمق 30ملم/1ملم). والشكل رقم (4) يبين مقارنة الاختلاف بين النموذج الخرساني ذي الثلاث شقوق (عمق 10ملم/2ملم) مع النموذج الخرساني ذي الثلاث شقوق (عمق 10ملم/1ملم).

نتائج اختبار فحص المجهر الالكتروني الماسح

تم اجراء الفحص المجهري بكسر جزء صغير من مادة العلاج المتصلبة داخل الشقوق الخرسانية وفحصها بالمجهر الالكتروني الماسح , حيث اظهرت نتائج الفحص وجود بلورات كاربونات الكالسيوم وهذا يدل على ايجابية الاختبار, كما موضح في الشكل رقم (5) والشكل رقم (6).

الاستنتاجات

من خلال الدراسة الحالية يمكن وضع الاستنتاجات الاتية:

1- تبين كفاءة بكتريا Bacillus Subtilis المعزولة من التربة الزراعية والجافة في عملية ترسيب بلورات كاربونات الكالسيوم.

2- لوحظ من خلال التجارب انه كلما كان عمق الشق اكبر فان عملية ترسيب كاربونات الكالسيوم تحتاج الى وقت اكبر موازنة بالشقوق ذات العمق الاقل.

3- بينت النتائج ان النماذج الخرسانية ذات الشق بعرض (1ملم) تكون طريقة المعالجة لها افضل من النماذج الخرسانية ذات عرض شق(2ملم) والتي تحتاج الى فترة اطول لإتمام عملية الملء الكامل للشق بمادة العلاج وترسيب كاربونات الكالسيوم , وان قراءة الزمن الذي تستغرقه الموجة بالنسبة للشق بعرض (1ملم) تكون افضل من الشق بعرض (2ملم) ويرجع سبب هذا الى ان الشق بعرض (2ملم) يحتاج الى وقت اطول للوصول الى ترسيب كاربونات الكالسيوم.

4- وجد ان نقاط اخذ القراءات الواقعة على بعد (5سم) من الشق تعطي قراءة اقل لزمن انتقال الموجة عبر الشق المعالج موازنة الى النقاط الواقعة على بعد (10سم) من الشق , وهذا يعود الى ان الموجة تستغرق وقت اطول من الموجة المنتقلة من مسافة تبعد (5سم) عن الشق.

5- بينت نتائج الدراسة ان استخدام مادة العلاج المكونة من (Silica + المعلق البكتيري) اعطت نتائج ايجابية افضل من الطريقة المكونة من (مسحوق Silica + NaCl + معلق بكتيري) ومادة العلاج الثانية المكونة من (Silica + HCl + معلق بكتيري) لمعالجة الشقوق الخرسانية وترسيب كاربونات الكالسيوم.

التوصيات Recommendation

1- دراسة استخدام طريقة النانو تكنولوجي في دراسة معالجة الشقوق الخرسانية باستخدام البكتريا لترسيب كاربونات الكالسيوم داخل الشقوق الخرسانية.

2- دراسة تأثير تركيز البكتريا على طريقة معالجة التشققات الخرسانية.

المصادر

1) Cawon and Steel, (1993). Edited and rev. by Barrow, G.I., and Feltham, R.K.A., Manual for the Identification of Medical Bacteria. 3rd edition. Dock House, The water front, Cape Town 8001, South Africa.
2) Castanier, S.; Le Metayer – Levrel, G.; and Perthuisot, J. P., (1999). Carbonates precipitation and limeston genesis – The Microbiologist Point of View sediment geol. 126(9 – 23). Day, J. L.; Bang S. S.; Ramakrrishnan V., (2003). Microbiologically induced sealant for concrete crack remediation.16th Engineering mechanics conference, (16-18), seattle, Washington.
3) Dale, H. P.E.; and Jim J., (2007).integrated materials and construction practices for concrete pabement. Astate-of-the-practice manual (8-72).
4) Hamilton, W. A., (2003). Microbe influence corrosion as a model system for the study of metal microbe interactions: Aunifying Electron Transfer Hypothses, Bio fouling, 19(1):pp. (65-76).
5) Hammes, F.; Boon, N.; De Villiers, J.; Verstraete, W.; Siciliano, Jonkers, H.M. & Erik, S., (2007). Crack repair by concrete – immobilized bacteria. International Conference on self-healing Materials, Noordwijk aan zee, The Netherlands.
6) Jonkers, H.M. & Erik, S., (2009). A two component bacteria-based self-healing concrete. International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, (215-219).
7) Jonkers, H.M., (2011). Bacteria – basedself healing concrete. HERON 56(1), pp, (1-12).
8) Jonkers, H.M.; Thijssen,G.; Copuroglu,O.; and Schlangen, E., (2010). Application of bacteria as self – healing agent for the development of sustainable concrete. Ecological Engineering. 36:pp. (230 S.D., (2003).strain-sbecific ureolytic microbialn calcium carbonate precipitation. Applied and environment microbiology, 69(8):pp.(4901-4909).
9) Hammes, F.; Verstraete, W., (2002). key roles of pH and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation.Environmental Science & Biotechnology 1 (1):pp.(3-7).
10) Holt, J. G.; Liston, J.; Murray, R.G.E.; Niven, C.F.; Ravin, A.W.; Cowan, S.; Tandstanier, R.Y., (1974). Bergys Manual of Determinative Bacteriology. Eight edition, (531- 533).

جدول رقم (1): المواد المؤلفة للخلطة الخرسانية

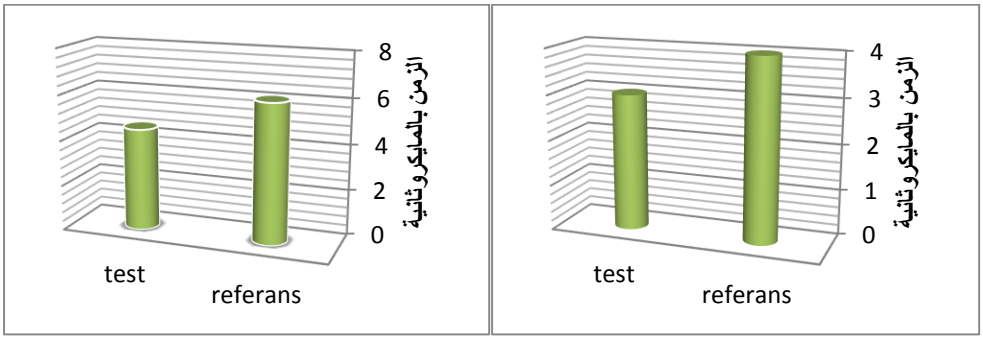
المواد	الحجم (Kg/m^3)
حصى	1017 kg/m^3
رمل	735 kg/m^3
سمنت	418 kg/m^3
ماء	221.5 kg/m^3
w/c	0.53

(1: 1.76: 2.43) w/c = 0.53)

جدول رقم (2): الاختبارات الكيمو حيوية و الزرعية لبكتريا (Bacillus Subtillis)

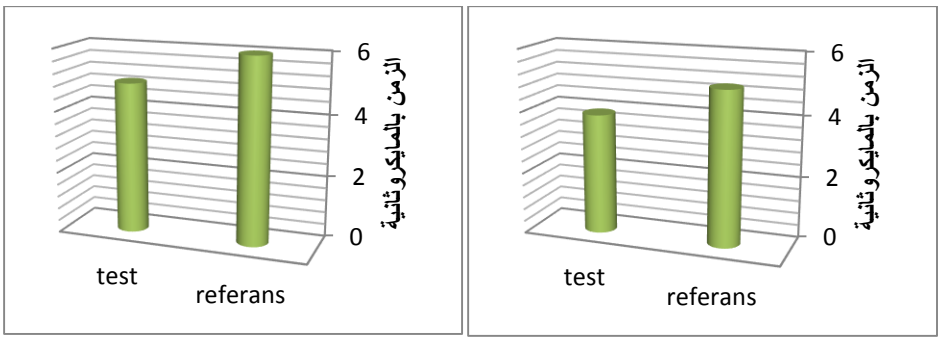
الاختبارات الكيمو حيوية	نتيجة الاختبار	الغرض من الاختبار
Gram Stain	+	لمعرفة البكتريا موجبة للصبغة ام سالبة.
Spore Forming	+	لمعرفة تكوين البكتريا للسبورات.
Motility	+	لمعرفة البكتريا متحركة ام غير متحركة.
Utilization of Citrate	+	لمعرفة ان البكتريا لها القابلية على استهلاك سترات الصوديوم بوصفه مصدراً وحيداً للكاربون.
VP test	–	لمعرفة ان البكتريا لها القابلية على تحليل الكلوكوز جزيئيا وتكوين مركب وسطي (A.M.C) Acetyl Methyl Carbinol.
MR test	+	لمعرفة ان البكتريا لها القابلية على تخمير سكر الكلوكوز.
O\F test	+\+	لمعرفة ان البكتريا لها قابلية استهلاك الكاربوهيدرات كمصدر رئيس للطاقة.
Starch hydrolysis	+	لمعرفة احتواء البكتريا على انزيم Amylase الذي يحلل النشأ الى مالتوز.
Gelatin hydrolysis	–	لمعرفة احتواء البكتريا على انزيم Gelatinase الذي يهجم الجيلاتين مما يسبب خسارته لصفة الجلي.
Urease test	D	لمعرفة احتواء البكتريا على انزيم urease الذي يحلل اليوريا الى امونيا و CO_2.
Catalase test	+	لمعرفة احتواء البكتريا على انزيم بيروكسيد الهيدروجين.
Oxidase test	+	لمعرفة احتواء البكتريا على مادة cytochrom c الذي من خلاله تستطيع البكتريا استهلاك الاوكسجين الحر.
Growth in 45˚c	+	لمعرفة نمو البكتريا في هذه الدرجة الحرارية.
Growth in 65˚c	–	لمعرفة نمو البكتريا في هذه الدرجة الحرارية.
Growth in 7%NaCl	–	لمعرفة البكتريا محبة للملوحة ام غير محبة لها.
Growth in ph=5.7	+	لعرفة البكتريا محبة للحموضة او القاعدية.
Growth in blood	–	لمعرفة البكتريا مرضية ام غير مرضية.
Growth in macConky	–	لمعرفة البكتريا مخمرة للاكتوز ام لا.

{(+): نتيجة موجبة، (–): نتيجة سالبة، (d): نتيجة موجبة بنسبة 3%}



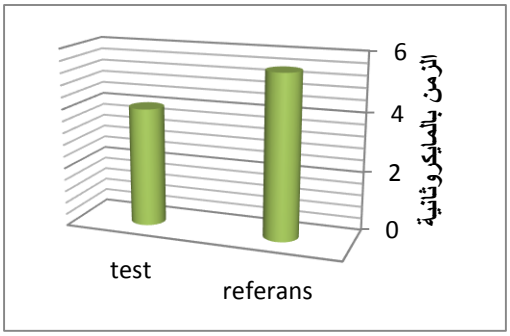
1ملم – 10ملم　　2ملم – 10ملم

شكل (1): يوضح ان قراءة زمن انتقال الموجة فوق الصوتية بصورة غير مباشرة في النموذج ذي شق الواحد (عرض 1ملم/ وعمق10ملم) لهذه النقطة والواقعة على بعد (5سم) من الشق كانت (75%)، وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت حولي (25%)، مما يعني حدوث انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق. وان جميع القراءات للنموذج ذي الشق الواحد (عرض 2ملم /وعمق 10ملم) كانت حوالي (73%) وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت (27%) مما يعني ايضا انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق. [تشير كلمة test الى العملية بعد المعالجة و كلمة referans الى العملية قبل المعالجة].

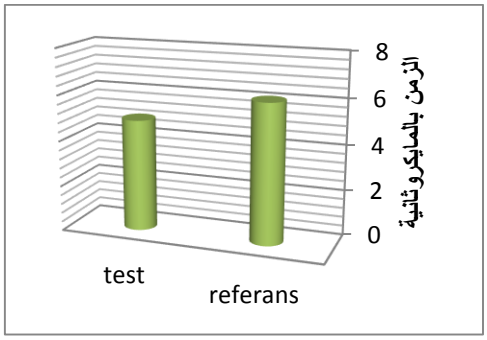


1ملم – 20ملم　　2ملم – 20ملم

شكل (2): يوضح ان قراءة زمن انتقال الموجة فوق الصوتية بصورة غير مباشرة في النموذج ذي عرض شق (1ملم/20ملم) لهذه النقطة والواقعة على بعد (5سم) من الشق كانت (78%)، وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت حولي (22%)، مما يعني حدوث انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق. وان جميع القراءات للشق (2ملم –20ملم) كانت حوالي (83%) وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت (17%) مما يعني ايضا انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق.

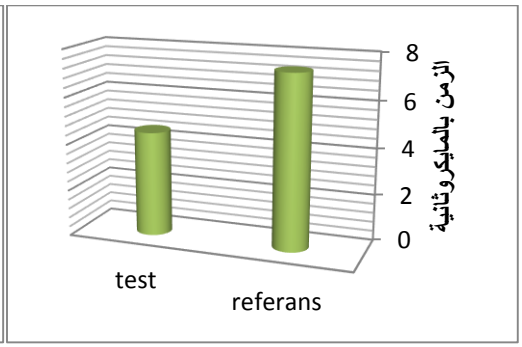


2ملم – 30ملم

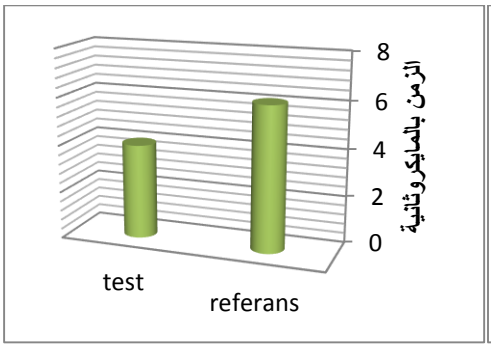


1ملم – 30ملم

شكل (3) يوضح ان قراءة زمن انتقال الموجة فوق الصوتية بصورة غير مباشرة في النموذج ذي عرض شق (1ملم/30ملم) لهذه النقطة والواقعة على بعد (5سم) من الشق كانت (72%)، وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت حولي (28%)، مما يعني حدوث انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق. وان جميع القراءات للشق (2ملم –30ملم) كانت حوالي (83%) وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت (17%) مما يعني ايضا انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق.

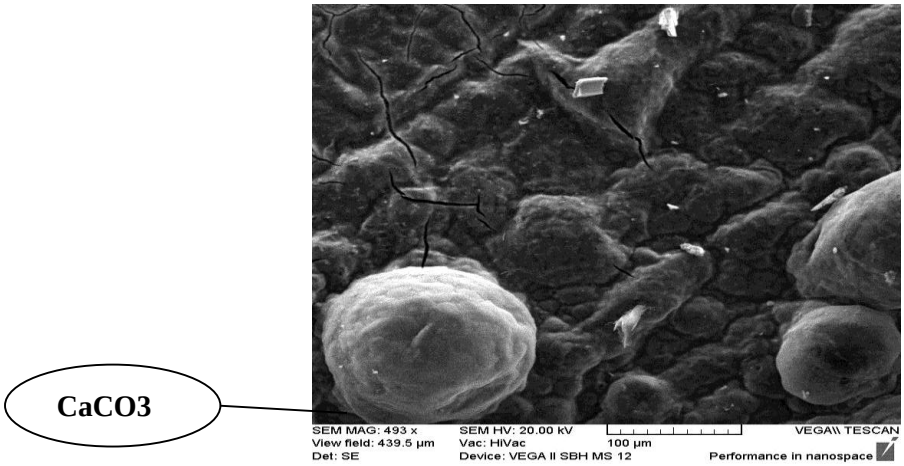


1ملم – 10ملم

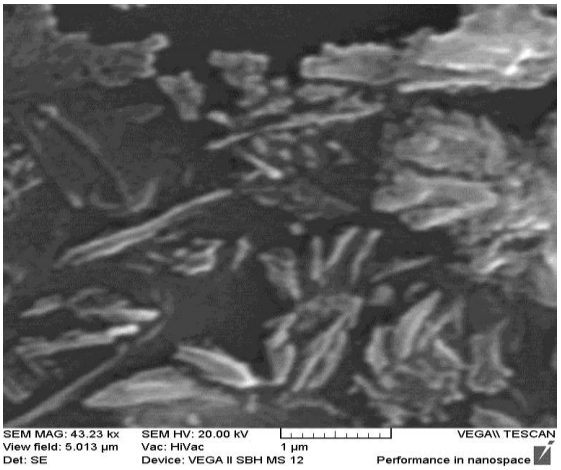


2ملم – 10ملم

شكل (4): يوضح ان قراءة زمن انتقال الموجة فوق الصوتية بصورة غير مباشرة في النموذج ذي عرض شق (1ملم/10ملم) لهذه النقطة والواقعة على بعد (5سم) من الشق كانت (65%)، وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت حولي (35%)، مما يعني حدوث انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق. وان جميع القراءات للشق (2ملم –10ملم) كانت حوالي (60%) وان مقدار الانخفاض في سرعة الموجة كانت (40%) مما يعني ايضا انتشار ترسيب كاربونات الكالسيوم بشكل منتظم على طول الشق.



شكل (5): يوضح تكون مادة كاربونات الكالسيوم داخل الشقوق الخرسانية المعالجة



شكل (6): يوضح كاربونات الكالسيوم بشكلها الإبري

USE OF BACTERIA TO SELF-HEALING CONCRETE CRACKS

Amer M. Ibrahim [1], Adnan N. Abdul Redha [2] Murooj M. Sana'a [3]
[1] Professor, college of engineering, [2] Professor, [3] researcher, College of Education for Pure Science, Diyala University

ABSTRUCT: The aim of the study was to using of bacteria to self-healing of cracks in concrete, and this study was the first of its kind in Iraq. This study used bacteria *Bacillus Subtilis* isolated from agricultural soils and dry soil, and has the cultivation and development in the selective medium SR-20, underwent tests, biochemical and diagnose bacteria and according to the (Bergys Manual & Medical Bacteria), where conducted laboratory tests preliminary to know the ability of these bacteria to address cracks concrete in terms of their ability to withstand factors existing in the form of concrete, including the pH baseband through development in the selective medium SR-20 with a pH baseband (PH=10), and tolerance of salinity when planted in the precipitation medium SM-7 containing chloride Calcium, also was testing Preparation Material treat cracks for the deposition of calcium carbonate crystals.

The results also showed that the best way to prepare material treat cracks concrete to precipitate calcium carbonate are using the method consisting of silica + bacteria concentration (15×10), where results showed test ultrasound acoustic difference in the time it takes the wave to pass through cracks treatment in the experience of substance treatment consisting of silica + HCl + bacteria concentration (15 × 10), and the time it takes the wave to pass through the cracks of treatment in the experience of substance treatment consisting of silica + bacteria concentration (15 × 10), where results showed that Article therapy were completely rigid in the last test. The test results also showed scanning electron microscopic examination (SEM) create calcium carbonate to treat cracks material consisting of silica + bacteria.

Keyword: Bacillus Subtilis, Self–Healing, calcium carbonate.