Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (38), (Dec, 2025)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) العدد 38 ديسمبر 2025
ردمد: 3014-6266

دراسة مرجعية عن فعالية الايبوكسي فى معالجة الشقوق الخرسانية

سناء سعيد ضو رحومة ، نوري محمد الباشا
قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة صبراتة

تاريخ الاستلام:2025/8/10 –تاريخ المراجعة: 2025/9/11– تاريخ القبول: 2025/11/2– تاريخ للنشر : 2025 /12/6

ملخص البحث

تعد الشقوق الخرسانية من أبرز المشكلات التي تؤثر سلباً على كفاءة المنشأت الخرسانية وأدائها الإنشائي. أذ يرتبط كل من عرض الشقوق وعمقها بمدى انتقال الاجهادات وضعف مقاومة الضغط والانحناء. تهدف هذه الدراسة المرجعية الى استعراض وتحليل الأبحاث السابقة المتعلقة بتأثير الشقوق على الخصائص الانشائية للخرسانة، مع التركيز على دور المواد المعالجة وخاصة مواد الحقن بالايبوكسي في استعادة مقاومة الضغط والانحناء. وقد أظهرت الدراسات أن الحقن بالايبوكسي فعال في تحسين مقاومة الضغط عند عرض شق 2 مم وتعزيز مقاومة الانحناء، بينما بينت نتائج أخرى استخدام نظام الإصلاح بالايبوكسي سيكا دور 31 متبوعاً بالتدعيم بالألياف الكربون فكان ذا فعالية عالية في تقليل الانحراف وتحقيق أكثر نسبة تحمل للكمرات الخرسانية. خلصت الدراسة الى أن الشق يقلل من مقاومة الضغط حيث تم الحصول على انخفاض في مقاومة الضغط 40.93%، أما عند تطبيق الايبوكسي يعمل على تحسين مقاومة الضغط عن طريق تقليل الانخفاض الى8.23 %, وفى دراسة حديثة تمت مقارنة حقن الشقوق بالايبوكسي مع حقنها بالايبوكسي المضاف اليه 15 % من البكتيريا حيث أظهرت نتائج الحقن بالايبوكسي مضافا اليه البكتيريا نسبة أسترجاع من المقاومة الكلية تصل الى99.72 %، بينما نتائج الحقن بالايبوكسي أعطت 92.44%.

الكلمات المفتاحية : الشقوق ، حقن الشقوق ، الحقن بالايبوكسي ، اختبارات الضغط والانحناء.

Abstract

Concrete cracks are among the most significant problems that negatively affect the efficiency and structural performance of concrete structures. The width and depth of cracks are directly related to the transfer of stresses and the reduction in both compressive and flexural strength. This review study aims to present and analyze previous research related to the effect of cracks on the structural properties of concrete, with a focus on the role of repair materials, especially epoxy injection materials, in restoring compressive and flexural strength. Studies have shown that epoxy injection is effective in improving compressive strength at a crack width of 2 mm, as well as enhancing flexural strength. Other findings indicated that using the epoxy repair system Sikadur 31, followed by strengthening with carbon fibers, was highly effective in reducing deflection and achieving the highest load-carrying capacity of concrete beams.

The study concluded that cracks reduce compressive strength, as a decrease of 40.93% in compressive strength was recorded. However, when epoxy was applied, compressive strength

improved by reducing the loss to 8.23%. In a recent study, a comparison was made between injecting cracks with epoxy and injecting them with epoxy containing 15% bacteria, where the bacterial-enhanced epoxy achieved a recovery of total strength reaching 99.72%, while traditional epoxy injection achieved 92.44%.

Keywords: cracks, crack injection, epoxy injection, compressive and flexural tests.

مقدمــة

الخرسانة هي المادة الانشائية الأكثر أستخداما في مختلف أنواع المنشأت، نظراً لتوفر مكوناتها وقدرتها العالية على مقاومة الضغط وتكلفتها الاقتصادية المناسبة. ومع ذلك فأنها ليست مادة مثالية أذ تعاني من عيوب إنشائية من أبرزها تشكل الشقوق التي تمثل نقاط ضعف خطيرة تؤثر على الأداء الانشائى والمتانة. وتتسبب هذه الشقوق في تركيز الاجهادات وزيادة النفاذية مما يسرع في دخول المواد الضارة داخل الخرسانة ويعجل بتآكل حديد التسليح وتدهور العمر الافتراضى للمنشأت الخرسانية [1] ويعتبر عرض الشق من أهم المؤشرات التي تستخدم لتقييم خطورة التشققات، وحيث يرتبط بشكل مباشر بالخواص الميكانيكية للخرسانة و المتمثلة في مقاومة الضغط والانحناء، وقد أولت الاكواد العالمية أهمية كبيرة لذلك حيث حدد الكود الأمريكي ACI224R-01 الحدود القصوى لعرض الشق بـ 0.3 مم في العناصر الداخلية الجافة ، و 0.2 مم في العناصر المعرضة للرطوبة والاملاح [2]. أما نص الكود الأوروبي 1-1- EN1992 يوصى بأن العرض لايتجاوز 0.3 مم في الظروف العادية و ينخفض لـ 0.2 مم في البيئات الرطبة أو المعرضة للأيونات العدوانية مثل الكبريتات والكلوريدات، كما شدد على أهمية أستخدام مواد إصلاح عالية الالتصاق مثل الايبوكسيات لاعادة ترابط الشقوق الدقيقة ، لضمان الحد من نفاذية المواد الضارة واستعادة خواصها الميكانيكية على المدى الطويل [3] .أما الكود البريطاني BS8110 فقد وضع حدوداً لعرض الشقوق فى الخرسانة المعرضة للرطوبة أو العوامل الجوية لا يتجاوز 0.3 مم أما الخرسانة الداخلية (الغير معرضة للماء أو الهواء) يمكن أن تصل ألى 0.4 مم .[4]

ونتيجة التحميل الزائد والبناء الغير السليم والتصميم الغير الدقيق تحدث شقوقاً هيكلية توثر على سلامة المبنى وتؤدى لمشاكل كبيرة فى الكمرات تنتج عنها شقوق قص وانحناء والتواء، أما شقوق الاعمدة تكون افقية وقطرية وتآكل، وأما شقوق البلاطة تكون انحناء وانكماش وتآكل. أما الشقوق التى لا تهدد السلامة الانشائية للمبنى وأنما تؤثر على المظهر الجمالي والمتانة على المدى الطويل فهى الشقوق الغير هيكلية وغالباً ما تنشأ نتيجة عوامل فيزيائية أو كيميائية أو بيئية [5-19]

تظهر الشقوق نتيجة عوامل متعددة اهمها الانكماش الحرارى أو الجفاف الذى يؤدى الى تقليص الخرسانة وتشققها ، كما تعد الاحمال الزائدة أو الغير متوقعة سبباً رئيسياً لعدم تماسك الهيكل الخرسانى ، بالإضافة الى التغيرات البيئية والعوامل الجوية مثل الرطوبة والتغيرات الحرارية والتفاعلات الكيميائية وأهمها التفاعل القلوى للركام و مداهمة الكبريتات ، او تعرضها لتآكل حديد التسليح بسبب نفاذية الخرسانة للماء و الكلوريدات و الغازات ، كما تعد حركة الاساسات وهبوط التربة من الاسباب التى تؤدى الى نشوء تشققات خطيرة ، كما تتسبب الزلازل والهزات الارضية و جذور البناتات القريبة من الجدران فى هذه التشققات [20-23]

(Issa et. al. ,2005) [24]

قاموا بدراسة تجريبية لإصلاح الشقوق بالايبوكسي حيث قاموا باختبار 15 مكعباً خرسانياً

واستخدموا ثلاث انواع من المكعبات: كما في الشكل (1)

1- النوع الاول المكعب العادي O بأبعاد 150x150x150 مم

2- النوع الثاني المكعب D1 تم تركيب لوحين من الفولاذ لتشكيل شق صناعي (أرتفاع 150 وعرض35 وسمك 2) مم

3- النوع الثالث المكعب D2 تم تركيب لوحين من الفولاذ لتشكيل شق صناعي (أرتفاع 70 وعرض 50 وسمك 2) مم

O	D1	D2

الشكل (1): القوالب المستخدمة [24]

أما (E + D1) و (E + D2) فهي عبارة عن النوع 2 و 3 من المكعبات و المحقونة بالايبوكسي نوع سيكا دور 52 . و الجدول (1) يبين قيم متوسط مقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة ، و الشكل (2) يبين قيم التخفيض فى مقاومة الضغط قبل وبعد الحقن بالايبوكسي .

الجدول (1): متوسط قيم مقاومة الضغط لمكعبات الخرسانة

% Reduction	Average(Mpa)Fc´	Days	Type
-	33	28	O
40.94	19.47	28	D1
32.703	22.2	28	D2
22.103	25.67	35	(D1+E)
8.23	30.27	35	(D2+E)

الشكل (2): قيم التخفيض ومقاومة الضغط قبل وبعد حقن الايبوكسي [24]

وخلصت الدراسة الى أن الشقوق تسببت في انخفاض في مقاومة الضغط بنسبة تصل الى 40.94 %بينما أستعاد نظام الايبوكسى عند تطبيقه مقاومة الضغط وتكون نسبة الانخفاض 8.23%

[25] (Norliyati et. al., 2015)

تستعرض هذه الدراسة استعمالا 3 أنظمة معالجة وهي التدعيم والحقن والإصلاح لإعادة تأهيل بلاطة خرسانية مسلحة بأبعاد (75 x 500 x 1000) مم. وتم أجراء اختبار الانحناء الرباعي النقاط، حيث عملوا على اختبار 4 عينات من بلاطة خرسانية واستخدمت العينة الأولى عينة مرجعية S1 وتم تسليط الحمل عليها حتى وصلت لحالة الفشل وتم اختبار بقية

العينات تحت نفس الحمل حتى وصلت الى عرض الشق المطلوب 0.5 مم – 0.8 مم وكانت حسب الاتي: **أولا** العينات المدعمة بألياف الكربون (CFRP) (S2) يصقل سطح البلاطة حتى تصبح أكثر نعومة ثم ينظف سطح العينة باستخدام ضاغط الهواء ثم يرقع سطح البلاطة باستخدام إيبوكسي سيكا دور 31 (Sika dur 31) ويطبق عليها برايمر (Epo Bond primer) لتنظيف سطح البلاطة من الغبار ثم تغلف بحصيرة من الياف الكربون المقوى وتترك لتجف لمدة 3 أيام لتحقيق التصاق جيد بين الخرسانة والالياف كما في الشكل(3)

بعد التعديل قبل التعديل

الشكل (3): تأهيل البلاطة بألياف الكربون [25]

ثانيا العينات المحقونة بالايبوكسي سيكا دور 52 (S3) بعد تطبيق الحمل المسبق 12.36 كيلو نيوتن. لوحظ شقوق انثنائية بعرض 0.5 – 0.8 مم في منتصف امتداد البلاطة وقبل الحقن تم

إزالة نفايات الغبار وتنظيف الشقوق ثم تركيب المنافذ بواسطة سيكا دور 31 و ترك البلاطة لمدة 24 ساعة للتأكد من جفافها و تصلبها ثم تحقن بالايبوكسي سيكا دور 52 (Sika dur 52) و كما في الشكل (4)

بعد التعديل قبل التعديل

الشكل (4): تأهيل البلاطة بالحقن بالايبوكسي سيكا دور 52 [25]

ثالثا العينات المعالجة بالأصلاح بواسطة الايبوكسي سيكا دور 31 (S4)، بعد تطبيق الحمل وحدوث التشققات يتم صقل العينة لتصبح أكثر نعومة ثم تنظيف نفايات الغبار من سطح البلاطة بواسطة ضاغط الهواء ثم يتم إصلاح العينة على السطح السفلى للبلاطة كما في الشكل (5) حيث تم استخدام سيكا دور 31 للإصلاح وتترك العينة لمدة 3 أيام حتى تجف.

بعد التعديل قبل التعديل

الشكل (5): العينة المعالجة بالإصلاح بالايبوكسي سيكا دور 31 [25]

وبعد معالجة العينات الثلاثة يتم إعادة تحميلها مرة أخرى، وحيث كانت نتائج التحميل والأنحراف قبل المعالجة وبعد المعالجة كما في الجدول (2)

الجدول (2): أقصى حمل وإنحراف قبل وبعد التأهيل للبلاطات الخرسانية

العينات	الحمل		الاختلاف في الحمل قبل وبعد%	الانحراف		الاختلاف في الانحراف قبل وبعد %
	قبل	بعد		قبل	بعد	
العينات المدعمة بألياف الكربون (S2)	9.52	17.64	46.03	10.86	4.493	58.63-
العينات المحقونة بسيكادور 52 (S3)	12.36	19.60	36.96	1.75	14.42	87.87
العينات المعالجة بالإصلاح بسيكادور 31 (S4)	12.69	17.03	25.51	2.12	7.03	69.87

ومن خلال هذا الجدول تبين ان أقل نسبة انحراف تكون في عينة البلاطة المدعمة بألياف الكربون S2 وكذلك اعلى نسبة تحمل واستنتجوا كما أنخفض الإنحراف ازدادت الصلابة للعينة S2 , وكذلك يكون أقصى حمل بعد المعالجة باستخدام الحقن بالايبوكسي سيكادور 52 للعينة S3 ثم العينة المدعمة بألياف الكربون S2 ثم العينة المعالجة بالإصلاح بالايبوكسي سيكا دور 31 والتحميل يكون (19.60، 17.64، 17.03) كيلو نيوتن على التوالي

[26] (Griffin et.al., 2017)

قاموا في هذه الدراسة بتحقق من فعالية ثلاثة أنواع من الايبوكسي المستخدمة في أصلاح الكمرات الخرسانية المتشققة كما في الجدول (3)

أنواع الايبوكسي	اللزوجة	مقاومة الشد الانثنائية ميجا باسكال	مقاومة الضغط ميجا باسكال	معامل المرونة ميجا باسكال
النوع 1	250 – 500	45	70	3900
النوع 2	–	45	70	–
النوع 3	145	65	75	3000

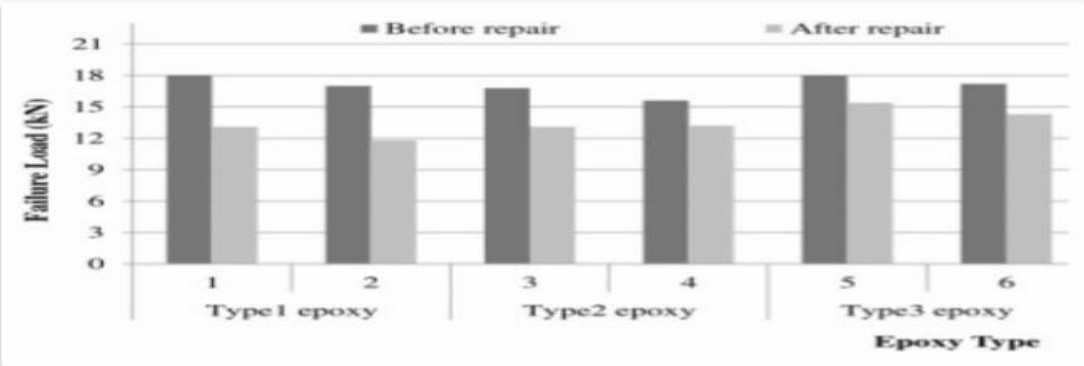
الجدول (3): انواع الايبوكسي المستخدمة في هذه الدراسة

وذلك من خلال أختبار العديد من الكمرات الخرسانية الغير المسلحة قبل وبعد الاصلاح بالايبوكسي ، حيث اختبروا 6 كمرات خرسانية مرجعية وغير مسلحة ويتم تحميل الكمرات تحت الحمل الراسي حتى تتشقق الكمرة أو تتكسر في منطقة الشد ثم تم اصلاحها واعادة اختبارها تحت الحمل الانثنائى , حيث استخدموا الكمرات بطول 505 مم وارتفاع 105مم وعرض فى الاسفل 100مم و فى الاعلى 105مم وذلك لسهولة أخراجها من القالب , وبعد تصميم الخلطة وانشاء الكمرات ومعالجتها بالماء 28 يوم يتم الاختبار باستخدام UTM عن طريق تطبيق نقطتين تحميل على الكمرة (اختبار الانحناء رباعي النقاط) كما في الشكل (6) . ثم قاموا بإصلاح الكمرات المتشققة أو المكسورة فى المعمل باستخدام مواد الايبوكسي واستخدموا نظام المشبك لتثبيت الكمرات المكسورة فى موضعها اثناء عملية تطبيق الايبوكسي كما في الشكل (7). ثم أصلحوا كمرتين

باستخدام الحشو بالجاذبية لتطبيق الايبوكسي من النوع 3. أما أصلاح الاربعة الكمرات الاخرى بالحقن الايبوكسي من النوع 1 و 2 و الشكل (8) : يوضح تطبيق منفذ الحقن

الشكل(6) : يوضح تحميل الكمرات الشكل(7) : يوضح تثبيت الكمرات الشكل(8) : يوضح حقن الشقوق

ثم تركوا هذه الكمرات 7 أيام للتصلب وتم إزلة الايبوكسي الزائد من الخارج على الكمرات وتم إزالة المنافذ ثم تم اختبار الكمرات مرة اخرى تحت التحميل الانثنائى , حيث فشلت الكمرات فى الثلث الاوسط بسبب طريقة التحميل والايبوكسى المستخدم النوع 1 وعند مقارنة احمال الفشل للكمرات قبل وبعد الاصلاح حيث تبين أن الكمرات التى تم اصلاحها بالايبوكسي 2 و 3 كانت قادرة على تحمل احمال اكبر من الكمرات التى تم اصلاحها بالايبوكسي1 كما فى الشكل(9)



الشكل (9): يوضح احمال الفشل وانواع الايبوكسي قبل وبعد الإصلاح [26]

واستنتجوا أن فعالية الايبوكسي من النوع 2 و3 تكون فعالة تماما في استعادة الاستمرارية الهيكلية للكمرات ويرجع ذلك لانخفاض اللزوجة للنوع 3 مقارنة بالنوع 1 بسبب نفاذيته وتسربه للشق بالكامل

[27] (Chatre et.al., 2023)

أجريت الدراسة على حقن الايبوكسى بعد حدوث الشقوق حيث قام الباحثون بأعداد 18 مكعب خرساني بأبعاد (150x 150 x150) مم و18 اسطوانة بابعاد300 x 150 مم و18 كمرة بأبعاد (150 x 150 x 700) مم من الخرسانة العادية وذلك لإيجاد مقاومة الضغط والشد الانشطاري والانحناء، حيث وضعوا جميع العينات للمعالجة في الماء لمدة 28 و56 يوم. ثم استخدموا آلة الاختبار الشاملة لغاية ظهور التشققات ثم الضغط على زر الإيقاف فورا قبل وصول العينات لمرحلة الفشل وتسجل مقاومة الضغط والشد والانحناء ثم استخدموا الايبوكسي نوع Conbextra EP10(M) EPOXY لحقن الشقوق بنسبة خلط 1: 3، وتحقن جميع هذه العينات وتترك العينات يوم واحد لتتصلب ويعاد اختبارها وتكون نتائج مقاومة الضغط والشد والانحناء لمدة المعالجة 28 و56 يوم كما في الجدول (4)

الجدول (4): نتائج مقاومة الضغط والانحناء بعد حقن الايبوكسي

مدة المعالجة (56 يوم)	مدة المعالجة (28 يوم)	المقاومة بعد حقن الايبوكسي بـ (ميجا باسكال)
29.57	28.59	مقاومة الضغط
8.56	7.4	مقاومة الانحناء

أما شكل الايبوكسي كما في الشكل (10) وطريقة حقن العينات كما في الشكل (11)

الشكل (10): الايبوكسي المستخدم الشكل (11): حقن العينات [27]

واستنتجوا من هذه الدراسة ان كلما زادت مدة المعالجة تزداد مقاومة الخرسانة للضغط والانحناء بعد الحقن بالايبوكسي، وان الة الاختبار الشامل نتج عنها حدوث شقوق صغيرة بعرض (0.1 – 0.3) مم فقط فبل الوصول الى مرحلة الفشل الكامل، وأن راتنج الايبوكسي هو أفضل مادة لإعطاء المزيد من المقاومة مقارنة بمواد الحقن الأخرى.

[28] (Alimin et. al., 2024)

تتضـمن هذه الدراسـة مقارنة بين طرق إصـلاح الشـقوق التقليدية وهي الحقن بالايبوكسـي، والطرق الحديثة وهي اسـتخدام البكتيريا المعروفة بـ ذاتية الشفاء في الخرسانة (Bacillus Megaterium) وذلك لتحسين الخصائص الميكانيكية، حيث تم صـب 15 كمرة خرسـانية بأبعاد (500x100x100) مم، وw/c تبلغ (0.5) وتم معالجة هذه الكمرات لمدة 28 يوم، ثم أجراء اختبار الانحناء الثلاثي النقاط مما يؤدى الى تشقق العينات وحيث صممت لتحمل عرض الشق المسموح به من 5 – 10 مم، ثم يتم حقن هذه الكمرات بمادتين:

1 – الايبوكسي نوع EP10 Estorex راتنج ومصلب

2 – الايبوكسي مع أضافة البكتيريا بنسب 10 %، 15%، 20%، 25 %

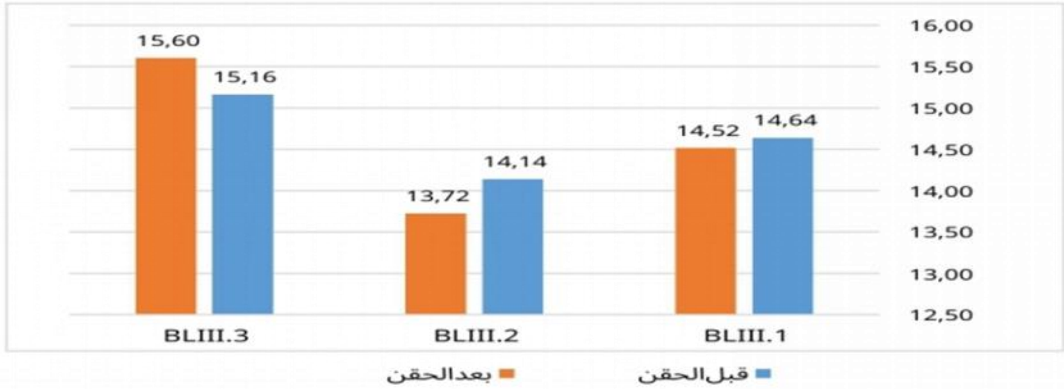
ويجرى اختبار الانحناء على الكمرات، ثم مقارنة النتائج مقاومة الانحناء للكمرات قبل الحقن وبعد الحقن، والجدول (5) يبين هذه النتائج

الجدول (5): مقارنة بين مقاومة الانحناء قبل وبعد الحقن

Sample Variation	Sample Labels	Flexural Strength Before Injection (Mpa)	Flexural Strength After Injection (Mpa)	Flexural Strength Comparison %	Average Initial Strength Recovery %
Epoxy-Injected Beams	BLI.1	13,23	12,79	96,71	92,44
	BLI.2	15,89	14,83	93,30	
	BLI.3	17,30	15,11	87,31	
Epoxy-Injected Beams + 10% Bacteria	BLII.1	17,34	16,66	96,11	87,42
	BLII.2	16,04	13,59	84,75	
	BLII.3	15,41	12,55	81,39	
Epoxy-Injected Beams + 15% Bacteria	BLIII.1	14,64	14,52	99,17	99,72
	BLIII.2	14,14	13,72	97,08	
	BLIII.3	15,16	15,60	102,92	
Epoxy-Injected Beams + 20% Bacteria	BLIV.1	14,58	15,18	104,14	98,03
	BLIV.2	14,82	15,37	103,69	
	BLIV.3	15,53	13,39	86,25	
Epoxy-Injected Beams + 25% Bacteria	BLV.1	14,72	12,72	86,41	89,79
	BLV.2	13,21	12,08	91,43	
	BLV.3	13,13	12,02	91,53	

من خلال النتائج المدونة في الجدول يتبين ان عملية الحقن بالايبوكسي يمكن استعادة 92.44 % من المقاومة الكلية وتعتبر هذه النتيجة جيدة مقارنة بأبحاث سابقة، وفى الوقت نفسه يمكن استعادة 99.72 % عند استعمال الايبوكسي مضاف اليه 15% من البكتيريا، والشكل (12) يبن مقاومة الانحناء قبل وبعد الحقن باستخدام الايبوكسي واضافة 15% من البكتيريا نوع ((Bacillus megaterium

الشكل (12): مقارنة مقاومة الانحناء قبل الحقن وبعد الحقن باستخدام الايبوكسي مع أضافة 15% بكتيريا [28]



خلصت الدراسة انه عند الحقن بالايبوكسي يمكن استعادة 92.44% من المقاومة الكلية كما أن الطريقة الأكثر فاعلية لاستعادة المقاومة الكلية بعد حدوث التشققات هي استخدام الحقن بالايبوكسي بإضافة 15% من البكتيريا. ويؤدى انخفاض أو زيادة محتوى البكتيريا في خليط الايبوكسي الى تقليل المقاومة بعد الحقن.

3 – مناقشة الدراسات السابقة

تنوعت الدراسات السابقة وتناولت معالجة الشقوق الخرسانية باستخدام المواد الايبوكسية ونوعية الشقوق المدروسة وطبيعة المواد المستخدمة الا أنها اتفقت جميعا على أهمية الايبوكسي في استعادة مقاومة الخرسانة وتحسين أدائها الإنشائي بعد التدهور. وقد أظهرت هذه الدراسات أن الشقوق الخرسانية لها تأثيراً سلبياً على قدرة مواد الإصلاح على النفاذ داخل الشقوق وعلى تماسكها مع الاسطح الداخلية

تشير الدراسات [24– 32]الى أن معالجة الشقوق بالايبوكسي حسنت مقاومة الضغط للمكعبات المتشققة بشكل ملحوظ حيث استعيد أكثر من 85%من مقاومة الضغط الاصلية بعد الإصلاح، كما ان الفرق بين العينات المعالجة والغير المعالجة يؤكد ان الايبوكسي يساهم في إعادة الترابط الداخلي بين أسطح الشقوق ويقلل من احتمالية انتشارها حيث تتوافق هذه النتائج مع [29] التي أظهرت تحسناً في المتانة بعد الحقن بالايبوكسي وزيادة مدة المعالجة. أما الدراسة [30] اكدت أن الايبوكسي فعال في أصلاح الشقوق الانحناء بعرض 3 مم

خلصت الدراسة [26] الى أن الايبوكسي المنخفض اللزوجة هو الأنسب لإصلاح الشقوق الدقيقة والمتوسطة العمق ، بينما الايبوكسي المتوسط والعالي اللزوجة يفضل لإصلاح الشقوق السطحية و الواسعة حيث يستخدم الايبوكسي منخفض اللزوجة في معالجة الشقوق السطحية وفى الإصلاح قبل التدعيم بحصيرة من الياف الكربون المقوى وفى تركيب منافد حقن الايبوكسي هذا ما أظهرته الدراسات [25] و[31] ، اما عن طرق الإصلاح بألياف الكربون وفقا للدراسة[25] فإن العينات المدعمة بألياف الكربون تعطى أقل انحراف والعينات المعالجة بالايبوكسي سيكاد ور 52 تعطى اعلى نسبة تحمل وهذا يتفق مع الدراسة [32] في التدعيم بألياف الكربون وتقليلها للانحراف ، أما الدراسة [27] اكدت فعالية الايبوكسي في حقن الشقوق الشعرية وانه كلما زادت مدة معالجة العينات تزداد مقاومة الخرسانة للضغط والشد والانحناء .

اكدت الدراسة [28] أن الحقن بالطرق الحديثة أعطت نتائج أفضل من الطرق التقليدية في أصلاح الشقوق، حيث اعطى الحقن بالايبوكسي مضافاً اليه 15 %من البكتيريا استعادة في المقاومة بحوالي 99.72 %بينما الحقن بالايبوكسي اعطى استعادة 92.44 %، وعند حقن الايبوكسي بطريقة غير صحيحة ينتج عنه عدم كفاية الترابط الداخلي بين الشقوق والخرسانة.

4 – الخلاصة

أجمعت الدراسات أن الايبوكسي هو مادة لاصقة يعد تطبيقها طريقة فعالة وغير مكلفة في مشاريع البناء العادية لسد الشقوق الصغيرة بحيث يكون الحد الأقصى لعرض الشق 5 مم، وفى مشاريع الهندسة المدنية مثل الجسور وهياكل احتجاز المياه مثل السدود والخزانات والقنوات وغيرها لأنه يشكل حاجز فعال ضد تسرب المياه، وفى العناصر مثل الاعمدة والكمرات والاساسات والجدران والارضيات. وحيث أثبت الدراسات أن الحقن بالايبوكسي طريقة فعالة لاستعادة الهيكل الأصلي وصلابته أذا تم اتباع إجراءات الإصلاح الكافية ويفضل استخدام الايبوكسي المنخفض اللزوجة لأنه يمكن أن يخترق بسهولة عمق الشق ويستعيد القوة بشكل أفضل، وكان للكمرات ذات العمق الأصغر نسبة تحسن أعلى وكذلك عدد الثقوب المحفورة للحقن يؤثر بشكل مباشر على النتائج فكلما كان عدد الثقوب أقل كان تحسين القوة أفضل.

كما ان تشقق الخرسانة هو كسر عشوائي شديد التغير وكلما زاد طول الشق زادت تركيزات الاجهاد الناتج عنه بسب وجود الشقوق في الهيكل، تنخفض مقاومة الهيكل تدريجيا مع زيادة حجم الشق ونتيجة لذلك يكون الهيكل عرضة للانهيار.

ويمكن تقليل حدوث الشقوق بالتصميم الجيد وتنفيذ الاعمال بدقة كما يجب الانتباه الى اختيار المواد والتقنيات المناسبة وكذلك ينبغي تجنب العوامل المؤدية للشقوق قدر الإمكان وخاصة في المشاريع المهمة.

المصادر والمراجع

[1] Neville, A. M. (2012). Properties of Concrete (5th ed.). Pearson Education Limited.

[2] ACI Committee 224. (2001). ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures. American Concrete Institute.

[3] EN 1992-1-1. (2004). Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization.

[4] BS 8110. (1997). Structural Use of Concrete – Code of Practice for Design and Construction. British Standards Institution

[5] Raja, B., & Arvind. (2016). Investigation of cracks in building. In *Forensic Structural Engineering Conference*, VIT Chennai Campus, Vol. 1. *Research Gate*.

[6] Borosnyói, A., & Balázs, G. L. (2005). Models for flexural cracking in concrete: ThE state of the art. *Structural Concrete*, 6(2), 53–62.

[7] Malm, R. (2006). Shear cracks in concrete structures subjected to in-plane stresses. *KTH Royal Institute of Technology*.

[8] Demyanov, A. (2018). The modeling method of discrete cracks in concrete under torsion with bending. *Magazine of Civil Engineering*, 81(5), 160–173.

[9 Jummaa, G. B., & Yousif, A. R. (2019). Size effect on the shear failure of high-strength concrete beams reinforced with basalt FRP bars and stirrups. *Construction and Building Materials*, 209, 77–94.

[0] ACI Committee224 (2007). ACI 224R-01 *: Control of Cracking in concrete Structure* . American Concrete Institute.

[11 Nevill ,A.M. (2011) *Properties of Concrete* (5^{th} ed) . Pearson Education

[12] Gambhir , M.L.(2013) . Concrete Technology: Theory and Practice (5^{th} ed .) *McGraw – Hill Education.*

[13] American Concrete Institute(ACI).(2001).Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-01)

[14] Narwaria , R.S. and A. Tiwari , Development of cracks in concrete ,

preventive Measuies and treatment methods : Areview International Research Journal . of Engineering and Technology 2016. 3(9): p. 671 – 677
[15] Sola. E, Ozbolt. J , Balabanicb .G , Mir . Z.M, Experimental and numerical study of accelerated corrosion of steel reinforcement in concrete : Transport of corrosion products Cement and Concrete Research , 2019. 120 (1 -2) :. 119 – 131 .
[16] Tang. X, Tao. S, Li. p, Rutgvist. J, Hu. M, Sun. Lei, The propagation and interaction of cracks under freeze – thaw Cycling in rock – like material. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 154 , 2022 , 105112
[17] Doshi, S ., et al ., Methodology for prevention and repair of cracks in building GRD Journals – Global Research and Development Journal for Engineering , 2018 .3 (3) : p.52 – 57
[18] TED Kay , " Assessment & Renovation of concrete structures " Longman Groups UK Limited, 1992 .
[19] Ou. C. Y., Teng .F, Wei Li c , A simplified estimation of excavation – Induced ground movements for adjacent building damage potential Assessment Tunnelling and Underground Space Technology ,2020. 106 (5) : 10356
[20] Government of India , Ministry of Railways ,(2004) . *Handboo on Cracks in Buildingk.* CAMTECH ⁄ 2004 ⁄ C ⁄ CRACKS ⁄ 1.0*k*
[21] Nama, pooja, Jain Ankush , Srivastava Rajat and Bhatia Yash (2015) . " Stady on Causes of Cracks & its preventive Measures in Concrete Structures " *IJERA* . Vol . 5 , No .5. pp. 119 – 123
[22] Rishabh , pathak and Deepak Rastogi . (2017) . " Case Study on Cracks In public Buildings and their Remedies " *International Journal of Science And Research* . Vol . 6. No . 5. pp . 325 – 329
[23] Chitte, Chetan and Sonawane Yogesh (2018). " Study on Causes and prevention of Cracks in Building " *IJRASET.* Vol. 6, No.III.pp 453-461.:1035
[24] Issa, C. A. (2009). Failure distress and repair of concrete structures: Methods of crack repair in concrete structures. Engineering Structures, 169–193.
[25] Norliyati ,M.A.,Aziz,N.A.,Joohari, I.,& Alisibramulisi, A.(2016). Retrofitting Performance of reinforced concrete one way slab. Jurnal Teknologi, 78(5-3), 41- 45.
[26] Griffin, S., Nejad, H. A., & Farrant, B. (2018, July 5). Evaluation of epoxy injection method for concrete crack repair. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/publication/319035217
[27] Chatre, A. J., Dabhade, H. K., Pawar, S. K., Mistari, A. V., Bedade, H. B., & Kasliwal, S. S. (2023). Repair of crack in concrete structure by epoxy resin . *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, 10(6).
[28] Alimin, B. M., Mauludin, L. M., & Widiantoro, G. (2024). The comparative study of epoxy and bacterial injection for cracked concrete beam flexural strength. *E3S Web of Conferences*, 479, 04003
[29] American Concrete Institute. (2000). Structural crack repair by epoxy injection. In *Concrete Repair Manual* (3rd ed., pp. 951–956). American Concrete Institute And International Concrete Repair Institute
[30] Kunieda, M., Kamada, T., & Rokugo, K. (2014). Flexural failure behavior of Concrete beams repaired by crack injection techniques.
[31] Krishnamoorthy, R. R., & Arif, S. N. (2018, March 22). Concrete cracks repair

using epoxy resin. *Research Gate*
. https://www.researchgate.net/publication/323935152
[32] Mat Saliah, S., Khairul Nizam, K., Muhammad Ariffzain, M., & Abdul Rashid, N. M. (2019). Evaluation of severely damaged reinforced concrete beam repaired with epoxy injection and retrofitted with CFRP using acoustic emission technique. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 594, 012009
. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1459/1/012007