The Influence of Concrete Resistance on the Protection of Reinforced Steel at Coastal Environment

Dr. Al Shareefa Baheeja AL ALFADEL*

(Received 9 / 2 / 2021. Accepted 2 / 11 / 2021)

□ ABSTRACT □

The coastal areas are considered as one of the most aggressive environment to the reinforced concrete construction, the corrosion of reinforced steel leads to early deterioration in reinforced concrete and reduces its durability.

The high economical cast ,which is caused by corrosion of reinforced steel in reinforced concrete constructions , made the greatest problem in the infrastructure in the industrial countries. Recently it has led to high repair costs. Sometimes exceeding the construction cost or it has led to the exit of the establishment from investment.

The most harmful material to the reinforced concrete structure in the coastal environments is the penetration of chlorides into the reinforced concrete, this is why the corrosion caused by the chlorides is considered one of the most dangerous problems to those installations.

The research aims to study the effect of the concrete resistance on the protection of the reinforcing steel in the reinforced concrete installation and on the bond stress between concrete and steel, through carrying out accelerated electrochemical tests and bond test of samples and finding out the result and recommendations .

Keywords: corrosion- chlorides- bond stress.

* **Doctor - Construction Engineering Department – Faculty of Civil Engineering - Tishreen University- Lattakia – Syria. Email:alshareefa.baheeja@gmail.com**

تأثير مقاومة البيتون على حماية فولاذ التسليح في البيئة الساحلية

د. الشريفة بهيجة آل الفضل*

(تاريخ الإيداع 9 / 2 / 2021. قُبِل للنشر في 2/ 11 / 2021)

□ ملخّص □

تعد المناطق الساحلية من أكثر البيئات العدائية (الضارة) لمنشآت البيتون المسلح، حيث يؤدي تآكل فولاذ التسليح إلى التدهور المبكر للبيتون المسلح وبالتالي إلى انخفاض ديمومتها.

إن التكلفة الاقتصادية الكبيرة، التي يسببها تآكل فولاذ التسليح في منشآت البيتون المسلح، قد جعلت منه المشكلة الأكبر للبنية التحتية في الدول الصناعية، وخلال الآونة الأخيرة أدت إلى تكاليف إصلاح عالية جداً، تجاوزت أحياناً كلفة الإنشاء ، أو أدت إلى خروج المنشآت من الاستثمار.

إن أكثر المواد ضرراً على منشآت البيتون المسلح في البيئات الساحلية هو تغلغل الكلوريدات إلى داخل البيتون المسلح، لذلك يعد تآكل قضبان فولاذ التسليح الذي تسببه الكلوريدات، أحد أهم المشاكل الخطيرة في منشآت البيتون المسلح.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير مقاومة البيتون على حماية فولاذ التسليح في المنشآت البيتونية المسلحة وعلى إجهاد التماسك بين الفولاذ والبيتون من خلال إجراء اختبارات كهروكيميائية مسرعة واختبار التماسك للعينات، واستخلاص النتائج والتوصيات.

الكلمات المفتاحية : التآكل – الكلوريدات- التماسك.

* **دكتورة – قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
alshareefa.baheeja@gmail.com

مقدمة:

يعتبر البيتون المسلح من المواد الأكثر استخداماً في الإنشاء وذلك للمزايا العديدة التي يتميز بها، فالتركيبة بين البيتون والفولاذ يمكن اعتبارها تركيبة مثالية ليس فقط من ناحية السلوك الميكانيكي وإنما أيضاً من ناحية الديمومة والمقاومة للزمن، ولكنها تتعرض أحياناً للتدهور المبكر علماً أن تآكل الفولاذ من المسببات الرئيسية لهذا التدهور ومن بين المنشآت الأكثر عرضة لهذا التدهور المنشآت الواقعة في البيئات العدوانية[1].

الشكل (1) صورة تبين تأثير الصدأ

وقد أصبحت التشققات الناتجة عن صدأ فولاذ التسليح من أكثر أسباب تصدع المنشآت في منطقتنا ونقص عمرها الافتراضي وعلى الرغم من أن الرطوبة والأكسجين هما وقود عملية الصدأ، إلا أن الصدأ لا يمكن أن يبدأ إلا إذا فقدت الحماية التي يوفرها البيتون لقضبان التسليح الموجودة ضمنه، وهذه الحماية يمكن أن تفقد نتيجة لأسباب كثيرة، أهمها :

- الكلوريدات الموجودة بالخلطة البيتونية أو المتغلغلة من الخارج .
- التحول الكربوني للبيتون أو حدوث تشققات نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة والأوكسجين إلى قضبان التسليح ويبدأ الصدأ .
- وجود الكبريتات .

وقد تكون الأضرار الناتجة عن الصدأ بسيطة في البداية، حيث تظهر على شكل شقوق شعرية موازية لقضبان التسليح أو بقع صدأ صغيرة إلا أنها قد تؤدي مع الزمن إلى تساقط الغطاء البيتوني، وإن استمرار المشكلة بدون معالجة قد يؤدي إلى انهيار العنصر الإنشائي. وتكمن خطورة صدأ فولاذ التسليح في أنه يبدأ ويستمر لفترة طويلة بدون ظهور أعراض خارجية، وأنه طالما بدأ يستمر حتى لو أزيل مصدر الرطوبة مالم ينظف الفولاذ الصدئ ويزال البيتون المحيط به ويستبدل ببيتون سليم .

1- صدأ فولاذ التسليح :

ظروف القلوية العالية للخرسانة (PH=13) التي تنشأ أثناء تفاعلات الإماهة للإسمنت تؤدي وبسرعة إلى تشكل طبقة رقيقة (passive film) من أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد سماكتها 15 أنغستروم تقريباً على فولاذ التسليح المغموس تحميه من التآكل وتبقى هذه الطبقة طالما بقي الأس الهيدروجيني لمحلول مسام الخرسانة مرتفع[2] PH >11.5 .

إلا أن حالة السلبية هذه يمكن أن تدمر نتيجة لحدوث عمليات مثل عملية الكربنة للغطاء الخرساني التي يمكن أن تخفض قيمة الأس الهيدروجيني للخرسانة الغطاء إلى قيمة أقل من 10 أو تغلغل الكلوريدات ضمن محلول المسام بنسبة كافية لبدء حدوث التآكل أو حتى وجودها ، وهذه النسبة مرتبطة بقيم (PH) لمحلول المسام عند السطح البيني للخرسانة وفولاذ التسليح، وهذا بسبب صدأ الفولاذ الذي يؤدي إلى تكون مكونات من أكاسيد الحديد التي تتميز بازدياد حجمها وتسبب في حدوث انسلاخ لطبقة التغطية البيتونية، ويؤدي بدوره إلى فقدان السلامة الإنشائية للمنشأة على المدى الطويل [3].

2- التماسك بين الفولاذ والبيتون:

تنشأ ظاهرة التماسك عن عدد كبير من العوامل ، ومن أهمها نوع قضبان فولاذ التسليح إذا كانت القضبان ملساء أو محلزنة بالإضافة إلى أن شكل سطح الفولاذ يشكل عاملاً حاسماً في تقرير مكونات التماسك على طول الطبقة البيتونية المحيطة بقضبان التسليح[4].

فبينما يشكل التلاصق والاحتكاك بين الفولاذ قوة التماسك الأساسية في القضبان الملساء ، نجد أن الجزء الأكبر من هذه المقاومة يعود إلى وجود النتوءات في الفولاذ المحلزن، وبخاصة عندما تكون الإجهادات المطبقة عالية نسبياً، ومن العوامل الأخرى التي تؤثر في التماسك مقاومة البيتون المحيط بالفولاذ فبينما تكون مقاومة البيتون على القص هي العامل الفعال في آلية التماسك في القضبان الملساء نجد أن مقاومة الضغط هي التي تتحكم في مقدرة التماسك في القضبان المحلزنة، حيث يكون البيتون مضغوطاً عند النتوءات . يتأثر التماسك كذلك بسماكة طبقة التغطية المحيطة بالقضيب الفولاذي من البيتون، كما يتأثر بموقع القضيب في المقطع، ومن المهم تناول آلية التماسك في القضبان الملساء والقضبان المحلزنة[5].

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير مقاومة البيتون على صدأ فولاذ التسليح و إجهاد التماسك فيه وذلك في المنشآت البيتونية المسلحة في الساحل السوري .

وذلك من خلال إجراء نوعين من التجارب[6] :

- تجربة الشد المباشر من أجل اختبار اجهاد التماسك لعينات ذات مقاومات مختلفة (عينات مرجعية)
- تجربة التآكل المسرع لجزء من العينات السابقة عن طريق تغلغل الكلوريدات فيها.
- إجراء تجربة الشد المباشر على العينات التي تم إجراء تجربة التآكل المسرع عليها.
- مقارنة بين العينات المعرضة لتجربة التآكل المسرع والعينات المرجعية واستخلاص النتائج.

طرائق البحث و مواده:

لقد تم القيام بالتجارب والاختبارات العلمية في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين حيث تضمن البرنامج التجريبي:

تم صبّ ثلاث مجموعات من خلطات بيتونية مختلفة المقاومة MPa (40–35–30)، وكل واحدة من هذه المجموعات الثلاثة تم فيها صب مجموعتين :

المجموعة الأولى وتحتوي على عينات مكعبية أبعادها cm(15*15*15) مسلحة بشكل محوري بقضيب مركزي وحيد قطر (14mm).

المجموعة الثانية مشابهة للمجموعة الأولى حيث تم تعريضها إلى تجربة التآكل المسرع.

الشكل(2) يبين العينات البيتونية المعدة للتجارب

تجربة التآكل المسرع:

تمّ تعريض عينات من المجموعة الثانية لعملية تغلغل الكلوريدات وذلك باستخدام الخلية الغلفانية. حيث تمَّ تسليط تيار كهربائي مستمر (12 فولت) من بداية التجربة وإلى حدوث التشقق للعينة، وارتفاع مفاجئ في شدة التيار الكهربائي.

حيث تم فتح المنبع بشكل مستمر ويومياً، وتمّ تسجيل شدة التيار خلال فواصل زمنية قدرها 6 ساعات. واستخدام محلول يحتوي Nacl بتذكير 150g في الليتر.

ومن ثمّ القيام بتجارب التماسك على العينات المعرضة لعملية التآكل المسرع والعينات المرجعية .

ومن ثمّ حساب إجهاد التماسك الوسطي باستعمال العلاقة :

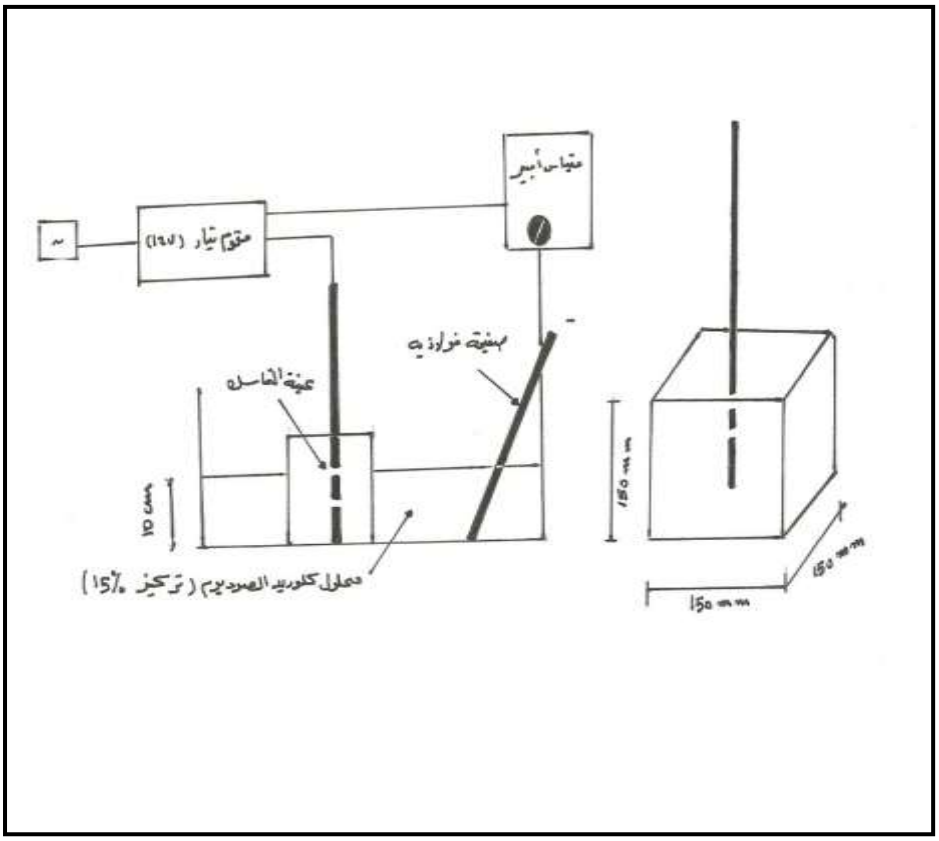
$$\tau_b = N / \pi.d.L_b$$

حيث N الحمولة الخارجية على التسليح مقدرة (N).

d : قطر القضيب مقدراً بـ (mm).

L_b : الطول المغموس للقضيب في العينة البيتونية ويساوي (150mm).

الشكل (3) الخلية الغلفانية وجهاز التآكل المسرع



الشكل (4) تمثيل تخطيطي لنظام التآكل المسرع للعينات البيتونية

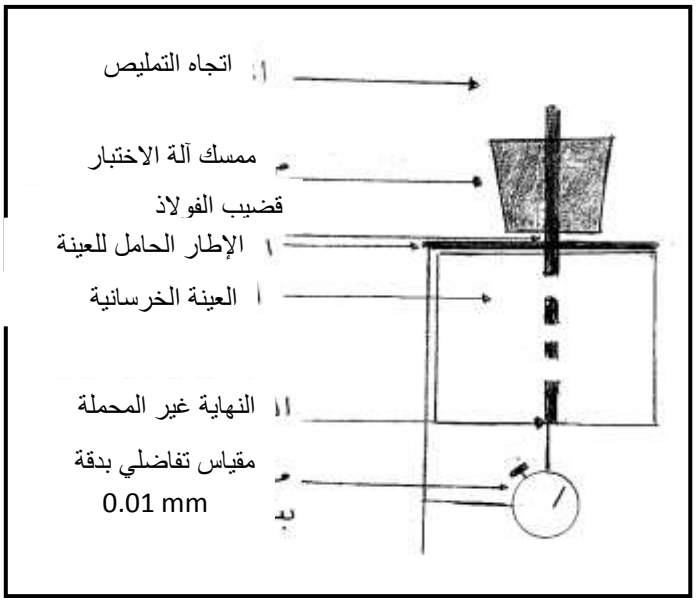
تجربة الشد المباشر:

جرى تطبيق الحمول بمعدل تقريبي (~25 KN/min) وقد استمر التحميل حتى الوصول إلى الانهيار، و تمّ تبني فاصل حمولة قدره (4KN) حيث أخذت قراءة انزلاق النهاية الحرة عند كل فاصل بواسطة مقياس التشوه التفاضلي الذي وضع عند النهاية الحرة.

ثم نتابع تحميل العينة بدون توقف حتى يحدث أحد الأمور التالية:

- انفلاق العينة في الوقت الذي تتناقص فيه الحمولة إلى الصغر .
- انزلاق على الأقل 2,5 ملم بين البيتون و القضيب المغموس

بعد الحصول على القيم الوسطية لأحمال التمليص جرى حساب إجهاد التماسك لكلّ عينة على حدى وبعدها حساب إجهاد التماسك الوسطي للعينات المتماثلة ورسم العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة.



الشكل (5) مخطط تخطيطي لتجربة الشد المباشر

الشكل (6) يبين مقياس التشوه الموضوع على عينة التماسك

النتائج والمناقشة:

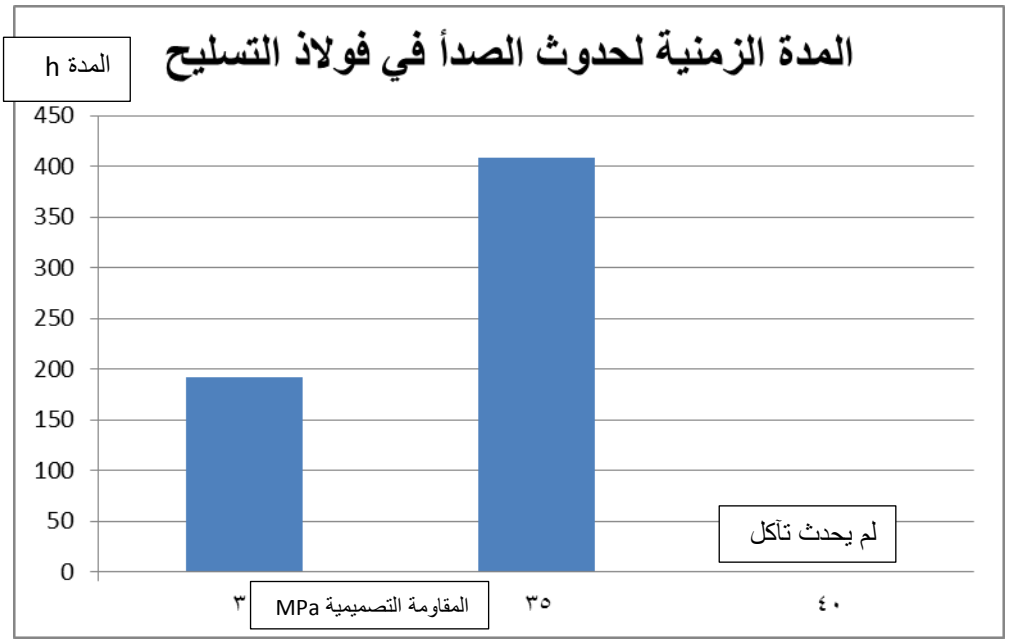
تم وضع النتائج التجريبية التي حصلنا عليها من تجارب التآكل المسرع والشد المباشر في الجدولين(1) و(2) :

الجدول(1) يبين الزمن اللازم لتآكل العينات البيتونية في تجربة التآكل المسرع

المقاومة التصميمية للعينات البيتونية MPa	الزمن اللازم لتآكل العينات h
30	192
35	408
40	لم يحدث تآكل في العينات

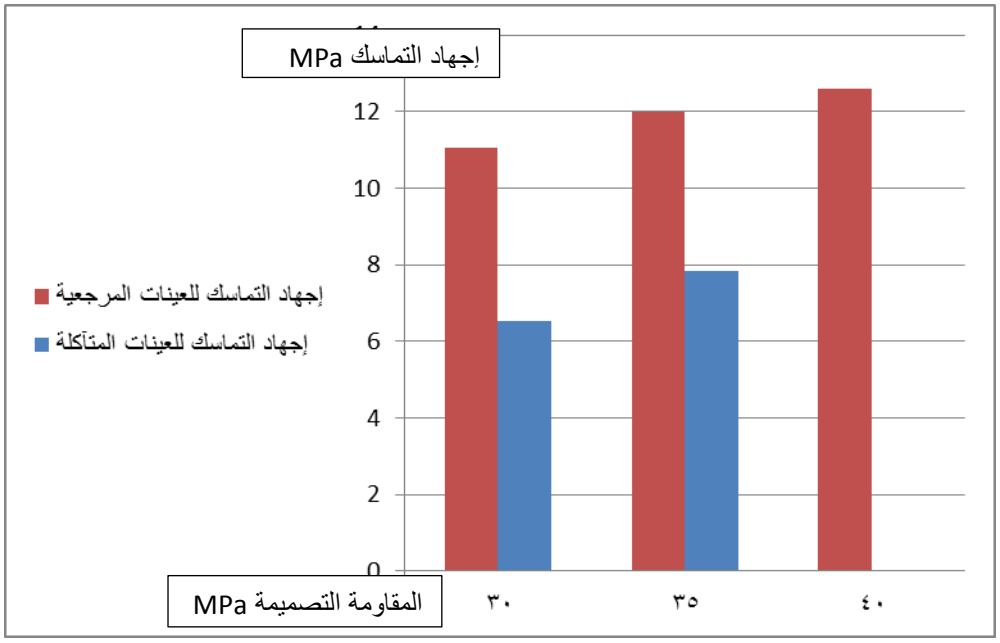
الجدول (2) يبين إجهاد التماسك للعينات البيتونية

المقاومة التصميمية للعينات البيتونية MPa	إجهاد التماسك للعينات المرجعية MPa	إجهاد التماسك للعينات المعرضة للصدأ MPa
30	11.07	6.52
35	11.98	7.85
40	12.58	لم يحدث تأكل للعينات

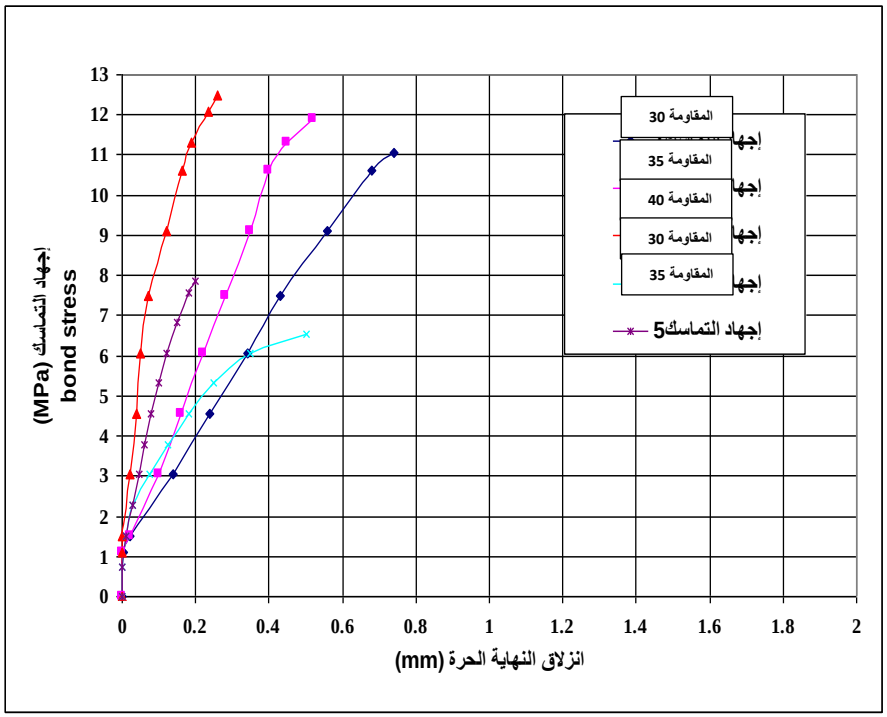


الشكل (7) مخطط يبين تأثير المقاومة على تآكل فولاذ التسليح

- نلاحظ من الشكل (7) ازدياد المقاومة التصميمية للعينات الخرسانية من القيمة 30MPa إلى القيمة 35MPa قد أعطى فعالية مميزة حيث زادت فترة بدء التآكل من 192 ساعة إلى 408 ساعة.



الشكل (8) مخطط يبين تأثير المقاومة على إجهاد التماسك



الشكل(9) يبين العلاقة بين إجهاد التماسك وانزلاق النهاية الحرة من أجل المقاومات الثلاثة للعينات المرجعية والعينات المعرضة للتآكل المسرع

- نلاحظ من الشكل (8) ازدياد إجهاد التماسك للعينات البيتونية المرجعية بنسبة 8.2% عند الانتقال من المقاومة 30MPa إلى المقاومة 35MPa وبنسبة 5% عند الانتقال من المقاومة 35MPa إلى المقاومة 40MPa .
- انخفضت قيمة إجهاد التماسك الوسطي للعينات البيتونية المتآكلة عن العينات المرجعية بنسبة 41.1%.

- انخفضت قيمة الانزلاق الوسطي للعينات البيتونية بنسبة 30% عند الانتقال من المقاومة 30MPa إلى المقاومة 35MPa وبنسبة 50% عند الانتقال من المقاومة 35MPa إلى المقاومة 40MPa.

الاستنتاجات والتوصيات:

- إن زيادة مقاومة البيتون يؤدي إلى زيادة المدة الزمنية لحدوث التآكل في فولاذ التسليح واستعمال بيتون ذو مقاومة 40 MPa وما فوق يعتبر حلاً جيداً للبيئة الساحلية والذي ينعكس على الكلفة الاقتصادية لهذه المنشآت.
- إن زيادة المقاومة التصميمية للعينات البيتونية من MPa (30–40) يؤدي إلى زيادة في إجهاد التماسك بنسبة تتراوح بين (10.5–13.6)%.
- إن تآكل فولاذ التسليح في العينات البيتونية يقلل من إجهاد التماسك بنسبة كبيرة تتراوح بين (35–40)%.
- للتنبؤ الأكثر دقة للعينات الفولاذية المعرضة للصدأ والمغموسة في العينات البيتونية ذات المقاومة الأكثر من 40 MPa لا بد من إجراء اختبارات لفترات زمنية طويلة.

References:

1 Meyer, C.1996- Design of concrete structures, Prentice- Hall, Inc, New Jersey.

2 D.A. St. John, A.B. Poole, I. Sims, Concrete petrography : A hand book of investigative techniques, John Wiley & sons, New York, 1998.

3 J.Zemajtis, Modeling the time to corrosion intiation for concrete with material admixtures and/ or corrosion inhibitors in chloride laden environments ,PHD. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and state University, Blacksburg, 1998 .

4 S. POPVICS, Y. Simeonov, G. Bozhimov and N. Barovsky, Durability of Reinforced concrete construction, Ellis, Horwood Limited, Chi Chester, U.K, 1983,pp:19-33 .

5 J. E. Bennett, et al., Cathodic protection of concrete bridges : A manual of practice , Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP-S-372,Washington, 1993.

6 M. Moosavi , et.al., Bond of cement grouted reinforcing bars under constant radial pressure, cement & concrete composite, Vol.N^{o}.27 (2005) 103-109.