مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

دراسة صدأ قضبان التسليح ضمن البيتون مع وبدون حماية

الدكتور علي تريكية *
الدكتور علي خيربك **
مقداد زيزفون ***

(تاريخ الإيداع 24 / 3 / 2011. قُبِل للنشر في 29 / 6 / 2011)

□ ملخّص □

تعتبر مادة البيتون المسلح من أكثر مواد البناء انتشاراً في العالم. ويعود السبب في ذلك إلى أنها لا تحتاج إلى خبرةٍ فنيةٍ عالية للتنفيذ، وتمتلك ديمومةً مقبولة يمكن رفعها إذا ما تم تحسين خصائص البيتون. وتعتبر ظاهرة الصدأ من أكثر العوامل التي تؤدي إلى فقدان ديمومة البيتون المسلح، ويأتي خطر الصدأ من إمكانية تطوره حتى يخرّب التسليح بشكلٍ كامل، فيخرج العنصر البيتوني من الخدمة. وتقدر الكلفة السنوية لإصلاح الجسور المتضررة، على سبيل المثال، نتيجة الصدأ في الولايات المتحدة الأمريكية نحو (10 بليون دولار)[4]، وهذا ما يظهر ضرورة العناية بالبيتون، وحمايته قبل أن يبدأ تخربه.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الصدأ في القضبان الفولاذية ضمن البيتون مع وبدون طلاء حماية، وذلك من خلال إجراء تجارب التأكل المسرع على العينات، ذات القضبان الفولاذية المطلية، وغير المطلية بمادة الإيبوكسي، وإجراء اختبار الشد المباشر على العينات السليمة، والمعرضة للتأكل المسرع كلها، ودراسة كل من المتغيرات (مقاومة البيتون – حماية القضبان الفولاذية بمادة الإيبوكسي)، وتأثيرها في زمن بدء التأكل وفي إجهاد التماسك بين البيتون والفولاذ. وأظهرت نتائج هذه التجارب الارتباط الوثيق بين جودة البيتون والزمن اللازم لبدء التأكل، والدور الإيجابي لطلاء فولاذ التسليح بالإيبوكسي من خلال تأخيره الكبير لزمن بدء التأكل، وإضعافه النسبي لإجهاد التماسك.

الكلمات المفتاحية: تأكل التسليح، تغلغل الكلوريدات، الحماية بالإيبوكسي.

* أستاذ مساعد– قسم الهندسة الانشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ مساعد – قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (4) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (4) 2011

Studying the Corrosion of Steel Bars in Concrete With/Without Protection

Dr. Ali Turikieh[*]
Dr. Ali Kherbek[**]
Mekdad Zezafon [***]

(Received 24 / 3 / 2011. Accepted 29 / 6 / 2011)

□ ABSTRACT □

The reinforced concrete is considered as the most famous material for construction in the world. The reason is that it does not need high experience to execute, in addition to it has a good durability which can increased if the concrete is improved. The corrosion is considered the main factory which cause to loss the durability of reinforced concrete. The dangerous of corrosion that it continue until destroy the reinforced completely and the element be out of use. The annual cost to repair the bridges in U.S.A (for example) is estimate about (10 Billion $),So it's important to protect concrete before damage.

The research aim is to study the influence of corrosion on the steel bars in reinforced concrete with/without paint protection. by performing the accelerated corrosion tests on the specimens have (coated by epoxy, without epoxy) bars and performing the bond test through direct tensioned experiment on the specimens (exposed to accelerated corrosion, normal),and studding the changes (concrete resistance - protect the steel bars with epoxy) and it's influence on the time of corrosion & bond stress between concrete and steel. These tests show the relation between the quality of concrete and the required time for corrosion, and the positive turn of the epoxy coat in retardation the time of corrosion and it's relation reduction on bond stress.

Keywords: Corrosion, Chloride penetration, Epoxy protection.

[*]**Associate Professor, Department of structure engineering, Faculty of Civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**]**Associate Professor, Department of Management & Engineering Construction, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Post graduate Student, Department of Structure Engineering, Faculty of Civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تعتبر ظاهرة الصدأ من الظواهر المهمة التي تصيب البيتون المسلح، إذ تؤثر سلباً في ديمومته، واستمرار مقاومته، وقد تؤدي إلى خروج المنشأ من الاستثمار. فعندما يبدأ قضيب الفولاذ بالصدأ يزداد حجمه، وهذا يؤدي إلى تشكيل قوى شد بالبيتون المحيط، وهكذا يستمر حتى تشظي طبقة الغطاء البيتوني، وتكشف الفولاذ، ويستمر ذلك إلى خروج المنشأ من الاستثمار.[1]

عند صب البيتون في القالب، ونتيجة عمليات إماهة الأسمنت تتشكل قاعدة قلوية (PH=13.5) تؤدي هذه الأخيرة إلى تشكيل طبقة رقيقة، تدعى (طبقة الحماية السلبية) (Passive film) على سطح الفولاذ، التي تعتبر طبقة حماية من الصدأ، وتستمر مادام (PH≥11). ولكن مع مرور الوقت يتغير التركيب الكيميائي للبيتون؛ نتيجة تعرضه للعوامل الجوية العدوانية المختلفة، مما يؤدي إلى فقدان قلويته، وثم إلى تحطيم الطبقة السلبية، وفقدان الحماية[2]. ومن أهم العوامل المؤدية إلى فقدان طبقة الحماية السلبية:

- التحول الكربوني (الكربنة) (Carbonation): وهو التفاعل مع غاز CO2 الموجود في الوسط المحيط بوجود بخار الماء، الأمر الذي يؤدي إلى تغير قلوية البيتون، ومع تقدم عملية الكربنة حتى تصل إلى عمق فولاذ التسليح تبدأ طبقة الحماية السلبية بالتخرب.[2]
- تأثير الكلوريدات (Influence of chlorides): ولهذه الظاهرة آثار خطرة، إذ إنها تؤدي إلى تدمير طبقة الحماية السلبية ولو كان البيتون غير متكربن عند مستوى فولاذ التسليح، إذ إنها تصل إلى مستوى فولاذ التسليح، وتسمى نسبة وزن الكلوريدات/ وزن الأسمنت التي يبدأ عندها الصدأ بعتبة التأكل[3].

وتعزى عملية تأكل فولاذ التسليح إلى عملية كهروكيميائية، وهي مجموعة من التفاعلات المصعدية والمهبطية، وهي مماثلة تماماً لما يحدث في الخلايا الغلفانية حيث يعمل العامل المؤكسد (الأكسجين)، والوسيط الذي ينقل التيار الكهربائي (مادة محلول المسام)، وهذه التفاعلات هي [4]:

التفاعلات المصعدية: $2Fe - 4e \rightarrow 2Fe^{+2}$

التفاعلات المهبطية: $O^{-2} + 2H_2O + 4e \rightarrow 4(OH)^-$

وعند تفاعل الشوارد من التفاعل الأول مع الشوارد الناتجة من التفاعل الثاني:

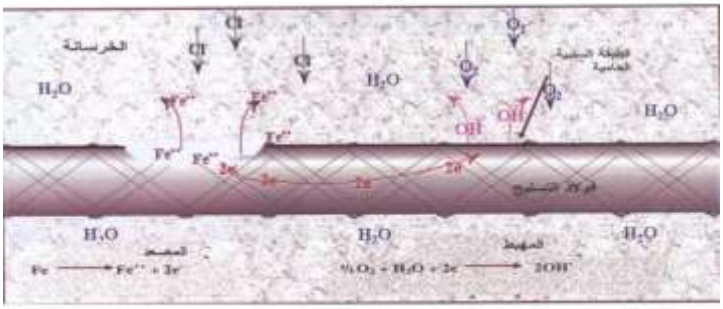
$$2Fe^{+2} + 4(OH)^- \rightarrow 2Fe(OH)_2$$

وبوجود الماء والأكسجين:

$$2Fe(OH)_2 \xrightarrow{O_2.H_2O} 2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3.H_2O$$

ومن خصائص أكسيد الحديد أنه شره إلى الماء، وضعيف الالتصاق بسطح فولاذ التسليح، ولذلك فإنه ينحل، ويترك سطح المعدن، ليعود ويتعرض من جديد للتفاعلات نفسها. وباستمرار الصدأ يزداد حجم قضيب فولاذ التسليح[4].

تأكل تنقري في قضيب الفولاذ



آلية تآكل فولاذ التسليح في الخرسانة نتيجة تغلغل الكلوريدات

الشكل(1) يوضح آلية تأكل فولاذ التسليح

ونظراً للتكلفة المادية الباهظة لعملية الإصلاح فقد تركزت الأبحاث على إيجاد طرق لحماية المنشآت البيتونية المسلحة، وتقسم هذه الطرق [5,1] إلى:

- طرق حماية عن طريق البيتون (تحسين البيتون– طبقة التغطية– حماية أسطح البيتون من العوامل الخارجية).
- طرق حماية فولاذ التسليح (موانع التأكل– تطبيق أغطية حماية على سطح الفولاذ– تسليح فولاذي مقاوم للصدأ– المعالجة الكهروكيميائية) [6].

ويبين الشكل (2) الآثار السلبية لصدأ فولاذ التسليح في حالة المنشآت.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة مقارنة لصدأ فولاذ التسليح عند حمايته بمادة الإيبوكسي في منشآت البيتون المسلح، وتحسين البيتون (عيار الأسمنت– نسبة الماء)، وتأتي أهمية البحث من دراسة إمكانية إطالة العمر الاستثماري لمنشآت البيتون المسلح في الساحل السوري.

طرائق البحث ومواده:

لقد تم تنفيذ جميع تجارب هذا البحث في مخابر كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين في اللاذقية، حيث اعتمدت طريقة البحث على:

- إجراء اختبار التأكل المسرع [6] للعينات السليمة، والمحمية بالإيبوكسي.
- إجراء اختبار الشد المباشر [7] على جميع العينات.
- دراسة تأثير مقاومة البيتون، ومادة الإيبوكسي في الحماية.

- دراسة تأثير مادة الإيبوكسي في إجهاد التماسك.

جدار استنادي لمبنى مواجه للبحر معهد البحوث البحرية (على البحر مباشرة)

جدار المينا في جبلة

الشكل(2) الآثار السلبية لفولاذ التسليح في المنشآت

البرنامج التجريبي:

لقد تضمن البحث التجريبي صب مجموعة من العينات البيتونية بأبعاد (15×15×15 cm) مع قضيب فولاذي (F_y=4000kg/cm^2, T=14 mm) في الوسط يمثل التسليح، حيث تم استخدام فلنجة معدنية مزودة بثلاثة حوامل؛ من أجل تأمين تثبيت القضيب، وإعطائه المركزية والشاقولية في أثناء الصب والرج، كما هو مبين بالشكل(3).

الشكل(3) يوضح شكل العينات البيتونية، وآلية تثبيت قضيب الفولاذ

وتم اختيار عيارات عدة للأسمنت (300-350-400-450kg/m^3)، كما هو مبين في الجدول(1)، حيث يبين تقسيم العينات إلى أربع مجموعات، وتم تقسيم عينات كل مجموعة إلى قسمين:

- عينات بيتونية، ذات قضبان فولاذية، مطلية بالإيبوكسي.

- عينات بيتونية، ذات قضبان فولاذية عادية.

جدول (1) يبين تقسيم العينات إلى أربع مجموعات بحسب عيار الأسمنت ونسبة الماء

رقم المجموعة	عيار الأسمنت Kg/m^3	النسبة w/c	المقاومة الأسطوانية kg/cm^2	طلاء التسليح بالإيبوكسي	عدم طلاء التسليح بالإيبوكسي
A	300	0.6	246	ستة عينات	ستة عينات
B	350	0.55	292	=	=
C	400	0.45	338	=	=
D	450	0.4	379	=	=

تم تحضير قضبان التسليح قبل صب العينات بـ/24/ساعة حيث تم تنظيفها ببرداخ معدني، ثم بفرشاة الحديد، ثم بواسطة الهواء المضغوط؛ للتخلص من أي غبار، أو برادة حديد. ثم بعدها طلاء القضبان بمادة الإيبوكسي، نوع (ZincRich)، بعد مزجه وفق تعليمات الشركة الصانعة، وبالانتظار لمدة ثلاثة ساعات قبل صب البيتون عليها، تم طلاء القضيب بطبقة واحدة، متكاملة، غير متكسرة، بفرشاة مناسبة، مع الاهتمام بالجزء الخلفي للقضيب، مع الانتباه لعدم حدوث أي فراغ، أو تكشف في هذه الطبقة، وفي حال حدوث ذلك، يترك القضيب لمدة ساعة، ثم يعاد دهانه بطبقة ثانية، والشكل (4) يبين قضبان الفولاذ المطلية.

وتم عزل نقطة التقاء القضيب الفولاذي بسطح المكعب البيتوني، وكذلك قاعدة العينة بمادة عازلة (سيليكون)؛ من أجل حماية القضيب الفولاذي عند سطح البيتون، وكذلك من أجل تأمين عدم حدوث قصر في دارة التيار الكهربائي. إذ إنَّ ثخانة التغطية عن قاعدة العينة لا تتجاوز 1سم، وذلك من أجل تحقيق أكبر طول تماسك بين البيتون والقضيب الفولاذي.

الشكل(4) القضبان الفولاذية المدهونة بالإيبوكسي

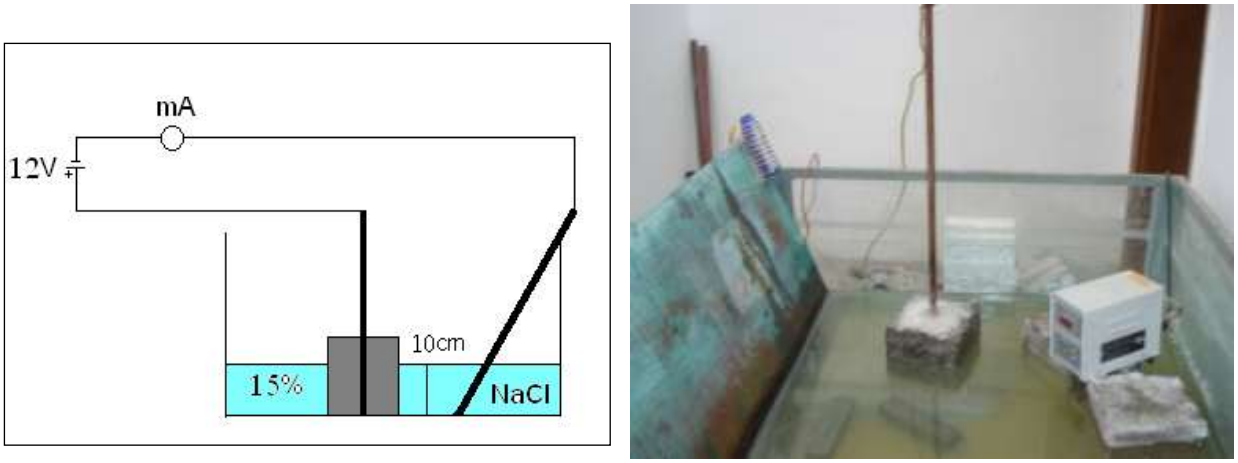
اختبار التأكل المسرع:(Accelerated corrosion test):

وهو اختبار عينات لوليبوب الخرسانية (Lollipop concrete specimens test) الذي يهدف إلى تحديد الزمن اللازم لبدء التأكل في فولاذ التسليح لكِّل عينة من العينات، وذلك من بدء وضع العينة في الحوض وتوصيل الدارة إلى لحظة الارتفاع المفاجئ في التيار الكهربائي. وتم تقسيم عينات كل خلطة إلى قسمين، قسم تم تعريضه للتأكل المسرع، وقسم سليم للموازنة، كما هو موضح بالجدول رقم (2):

الجدول (2) يبين تقسيم كل مجموعة إلى قسمين

الخلطة A		**الخلطة B**		**الخلطةC**		**الخلطة D**	
عينات شاهدة غير معرضة لتغلغل الكلوريدات		**عينات شاهدة غير معرضة لتغلغل الكلوريدات**		**عينات شاهدة غير معرضة لتغلغل الكلوريدات**		**عينات شاهدة غير معرضة لتغلغل الكلوريدات**	
عادية	مطلية إيبوكسي	عادية	مطلية إيبوكسي	عادية	مطلية إيبوكسي	عادية	مطلية إيبوكسي
A1	A'1	B1	B'1	A1	A'1	B1	B'1
A2	A'2	B2	B'2	A2	A'2	B2	B'2
A3	A'3	B3	B'3	A3	A'3	B3	B'3
عينات معرضة للتأكل (تأكل مسرع)		**عينات معرضة للتأكل (تأكل مسرع)**		**عينات معرضة للتأكل (تأكل مسرع)**		**عينات معرضة للتأكل (تأكل مسرع)**	
A4ِ	A'4	B4	B'4	A4ِ	A'4	B4	B'4
A5	A'5	B5	B'5	A5	A'5	B5	B'5
A6	A'6	B6	B'6	A6	A'6	B6	B'6

حيث تم وضع العينات المراد تأكلها في حوض التأكل بعد وضعها في محلول التأكل لمدة ثلاثة أيام قبل توصيل التيار الكهربائي حيث غمر بمحلول Nacl، تركيز 15%، بارتفاع 10cm؛ للحصول على نفس شروط تجربة عينة لوليبوب العالمية، حيث تم وصل قضيب الفولاذ بالقطب الموجب للمحولة، والصفيحة النحاسية بالقطب السالب، وتم تسليط تيار 12 فولت مستمر، وتم وصل مقياس ميلي أمبير، على التسلسل، بالمحولة، من أجل قياس شدة التيار. وتم أخذ القراءة بفاصل زمني قدره أربع ساعات. وتستمر التجربة إلى حصول قفزة في شدة التيار التي تعتبر دليلاً على حدوث الصدأ، حيث تدل القفزة في شدة التيار على تغيير في تركيبة البيتون، حيث تم رسم مخططات لمنحنيات تيار التأكّل مقابل الزمن(Corrosion current –time curves) لكُل عينة، والشكل(5) يبين صورة فوتوغرافية، وشكلاً تخطيطياً لحوض التأكل المستخدم.



الشكل(5) يبين صورة فوتوغرافية وشكل تخطيطي لحوض التأكل المستخدم

اختبار الشد المباشر:

تم شد العينات بجهاز الشد الموجود في مخبر كلية الهندسة المدنية حيث تم تثبيت المكعبات بصفيحة معدنية، مفرغة بالمركز، بفتحة قطر 10سم، وذلك من أجل منع تشكل مقاومة حشر عند فتحة القضيب التي تمنع من حصول الانزلاق، إذ إنّه عند القطر 1.5سم لم يتم الانزلاق نهائياً، وإنما حصل انقطاع في القضيب قبل حدوث أي انزلاق. وتم تثبيت حامل من أجل تثبيت مقياس التشوه لقياس الانزلاق عند النهاية الحرة للقضيب الفولاذي كما موضح بالشكل (6)، من أجل متابعة قراءة انزلاق النهاية الحرة.

الشكل(6) صورة فوتوغرافية تبين آلية تثبيت العينة على جهاز الشد

النتائج والمناقشة:

1- نتائج اختبار التأكل المسرع:

تم تحديد الزمن اللازم لحصول الصدأ لكلّ عينة، وذلك من خلال مراقبة شدة التيار، حيث اعتمدت لحظة بدء ارتفاع التيار المفاجئ (القفزة الكهربائية) معياراً لبدء حدوث التأكّل. يبين الشكل (7) صورة لنقطة الاتصال بين التسليح والبيتون لأنواع مختلفة من العينات.

شكل (7) عينة من النموذج B بعد 240 ساعة

والشكل(8) يوضح الفرق بين قضيب تسليح مدهون بمادة الإيبوكسي، وآخر عادي معرض لنفس المدة في حوض التأكّل المسرع.

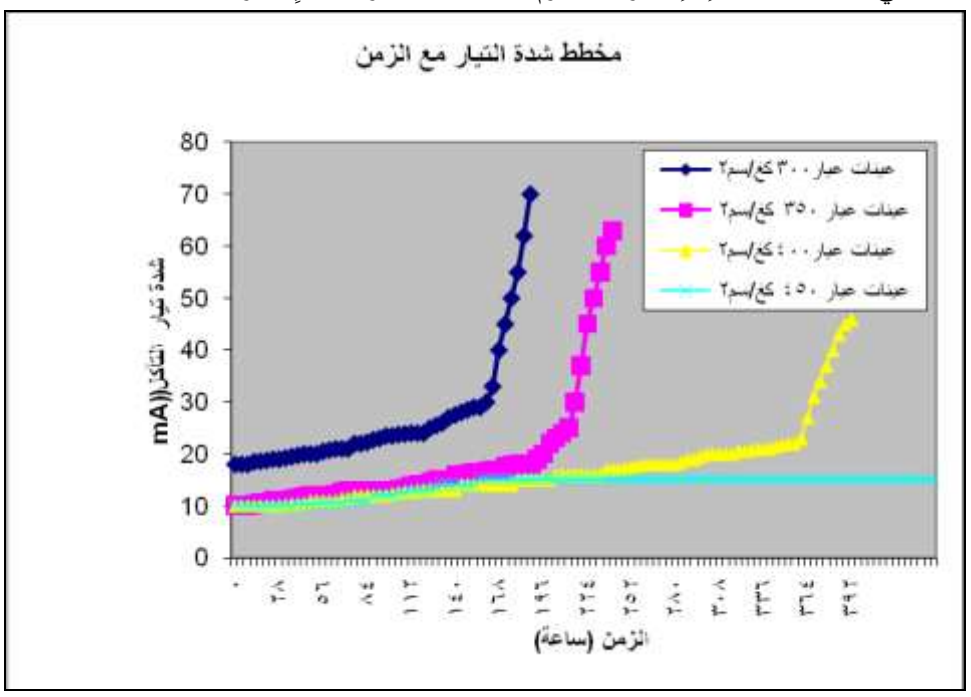
الشكل (8) يوضح قضيب فولاذ في عينة مدهونة، وأخرى غير مدهونة، تم وضعهما نفس المدة في حوض التأكل، وشكل القضيب قبل التأكل

- عينات غير مطليّة بالإيبوكسي، ذات عيار الأسمنت $300kg/m^3$، تم وضع العينات في جهاز التأكّل المسرع، في درجة حرارة ثابتة 22°، وتم تسجيل قراءة التيار عند حدوث القفزة في التيار الكهربائي عند بداية حدوث تأكّل التسليح، وكانت القيمة الوسطية نحو 188ساعة.
- عينات غير مطلية بالإيبوكسي، ذات عيار أسمنت $350kg/m^3$، خضعت لنفس الشروط السابقة، وتم تسجيل قراءة التيار، وكانت القيمة الوسطية للمدة الزمنية 240 ساعة.
- عينات غير مطلية بالإيبوكسي، ذات عيار أسمنت $400kg/m^3$، خضعت لنفس الشروط السابقة، وتم تسجيل قراءة التيار، وكانت القيمة الوسطية للمدة الزمنية 392 ساعة.
- عينات غير مطلية بالإيبوكسي، ذات عيار أسمنت$450kg/m^3$، خضعت لنفس الشروط السابقة، تم وضع العينة في جهاز التأكل المسرع، في نفس الشروط السابقة، نحو شهر، ولم تطرأ على شدة التيار أي قفزات في الشدة، وإنما ارتفاع بسيط في بداية التجربة، واستمر ثبات التيار على كامل المدة تقريباً.
- أمّا العينات المطلية فلم تبدِ أيٍّ منها أي تغير مفاجئ في شدة التيار، وإنما ارتفاع بسيط في بداية التجربة، كما أنها بدأت بتيار أخفض من العينات غير المدهونة بالرغم من وضع العينة في الجهاز لأكثر من 40 يوماً.

أي إنَّ الطلاء قد أكسب التسليح عمراً مضاعفاً على الأقل.

نلاحظ من النتائج زيادة الزمن اللازم من أجل بدء التأكّل للعينات العادية، غير المطلية بالإيبوكسي، ذات عيار الأسمنت $350kg/m^3$ على نظيراتها ذات عيار الأسمنت $300kg/m^3$، بنسبة 27%، والعينات العادية غير المطلية، ذات عيار الأسمنت $400kg/m^3$ على نظيراتها ذات عيار الأسمنت $350kg/m^3$ بنسبة

81.5%، أما العينات غير المطلية بمادة الإيبوكسي، ذات عيار الأسمنت $450kg/m^3$ فقد أبدت مقاومة عالية في مقاومة التأكل، إذ إنّ الزمن اللازم لحدوث الصدأ زاد بنسبةٍ كبيرة جداً.



الشكل(9) مخططات شدة التيار مع الزمن للعينات

2- نتائج اختبار الشد المباشر:

يبين الجدول (3) نتائج شد العينات بجهاز الشد الموجود في مخبر كلية الهندسة المدنية لكّل نموذج.

جدول (3) يبين قيم إجهاد التماسك الوسطي لكل نموذج

عيار الأسمنت	إجهاد التماسك الوسطي kg/cm^2			
	عينات شاهدة عادية غير معرضة للتأكل	عينات شاهدة مطلية بالإيبوكسي غير معرضة للتأكل	عينات معرضة لعملية التأكل	عينات مطلية بمادةالإيبوكسي معرضة لعملية التأكل
300 kg/m^3	98.50	89.50	60.68	84.4
350 kg/m^3	110.50	98.57	65.21	90.99
400 kg/m^3	120.13	106.61	74.81	99.50
450 kg/m^3	132.00	122.12	128.00	117.80

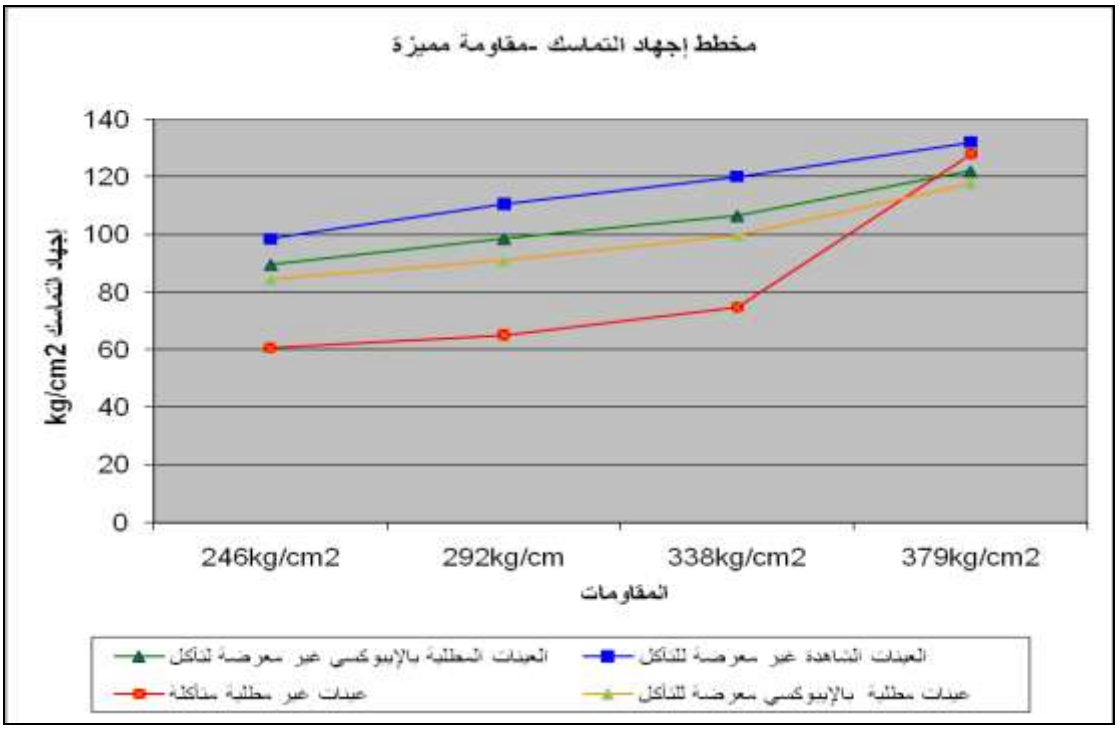
من الجدول (3) نلاحظ مايلي:

- زيادة إجهاد التماسك للعينات البيتونية، غير المعرضة للتأكل، ذات العيار $350\ kg/m^3$ على نظيراتها، ذات العيار $300\ kg/m^3$، بمقدار 12.1%، والعينات البيتونية غير المعرضة للتأكل، ذات العيار $400kg/m^3$ زادت على نظيراتها للعيار $350\ kg/m^3$ بمقدار 8.7%، أما العينات ذات العيار $450kg/m^3$ فقد زادت عن نظيراتها ذات العيار $400kg/m^3$ بمقدار 9.8%، أي إنَّ زيادة مقاومة البيتون أدت إلى زيادة ملحوظة في

إجهاد التماسك إذ زاد إجهاد التماسك الوسطي للعينات البيتونية، غير المعرضة للتأكل، ذات العيار $450kg/m^3$ على نظيراتها ذات العيار $300kg/m^3$ بمقدار 34%.

- انخفاض إجهاد التماسك الوسطي للعينات البيتونية غير المطلية المعرضة للتأكل عن نظيراتها، غير المعرضة للتأكّل، للعيارات Kg/m^3(450, 400, 350, 300)، بنسبة %(3.3; 37.7; 41; 38.4) على التتالي، حيث نلاحظ انخفاض إجهاد التماسك الوسطي للعينات البيتونية المعرضة للتأكل بنسبة تقريبية تصل إلى 41%.
- انخفاض إجهاد التماسك للعينات البيتونية، المطلية بالإيبوكسي، غير المعرضة للتأكل، عن نظيراتها غير المطلية بمادة الإيبوكسي للعيارات Kg/m^3 (450, 400, 350, 300) بنسبة %(7.4; 11.3; 10.7;9.13) على التتالي.

والشكل (10) يبين مخططات إجهاد التماسك الوسطي لجميع العينات.



الشكل(10) يبين مخطط (إجهاد التماسك– مقاومة) لجميع العينات البيتونية

الاستنتاجات والتوصيات:

- إن حماية قضبان فولاذ التسليح في منشآت البيتون المسلح بمادة الإيبوكسي يطيل من الزمن اللازم لحدوث التأكل بنسبة كبيرة.
- من الضروري عدم استخدام عيار أسمنت أقل من $400Kg/m^3$ في المنشآت البيتونية المسلحة المواجهة للبحر، إذ بينت النتائج الآثار السلبية لتغلغل الكلوريدات على التسليح في البيتون بعيار أقل من 400 kg/m^3.
- إن حماية قضبان فولاذ التسليح بمادة الإيبوكسي يخفِّض من إجهاد التماسك بنسبة تراوح بين(7–11.3%).

- انخفاض إجهاد التماسك في المنشآت البيتونية المسلحة في حال التعرض لتغلغل الكلوريدات بنسبة تصل إلى 41%.
- ننصح في هذا السياق بإجراء بحوث مكملة تسمح بالاختيار الأمثل لطلاء الإيبوكسي الذي يحقّق حماية أفضل من الأنواع الأخرى، كما يمكن أن يتبع هذا البحث بأبحاث أخرى توازن بين أنظمة عدة من أنظمة حماية التسليح (طلاء إيبوكسي– فسفتة– غلفنة...الخ).

المراجع:

1– أ.د أبو المجد، شريف.؛ أ.د. سلامة، عمرو.؛ أ.د. كمال، منير. ؛ أ.م.د الابياري، شادية. *تصدع المنشآت الخرسانية، وطرق إصلاحها* .دار النشر للجامعات المصرية ، مكتبة الوفاء، مصر، 1993، 200–250.

2- REVEL.A,TACHE.G. *Rôle et Déterminâtes de a chlorures dans le béton conférence*. CE FRANCON, France, 12-13 Oct. 1998, 58-65.

3- B.B. Hope, and A.K.C.IP. *Chloride Threshold in concrete*, ACI Materials Journal, VOL. N°. (84) (2) (1987) 306-314.

4– م. السويداني، عارف. *استخدام عملية الفسفتة لمعالجة مشكلة تأكل فولاذ التسليح في المنشآت الخرسانية*. رسالة دكتوراه. دمشق، 2005. 7–15.

5- BENTUR, A.; DIAMOND, S. ;BERKE, N. *Steel Corrosion in Concrete*. E& FN Spon London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 1997,113-142.

6- Erodogdu.S.;W.Bremner.T.;Kondratova,I.L.*Accelerated testing of plain and epoxy coated reinforced in simulated seawater and chloride solutions* ,Cement and Concrete research,Vol. N.31(2001)861-867.

7- PARK, P.; PAULAY, T. *Reinforced concrete structure*. John WIlEY & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, 1975, 392-407.