

تأثير تكرين البيتون على ديمومة بعض الجسور الطرقية الواقعة في المنطقة الساحلية السورية

* الدكتور زكائي طريفي

** الدكتور نزيه منصور

علاء ميا***

(قبل للنشر في 2005/6/13)

□ الملخص □

يعتبر صدأ فولاذ التسليح من أكثر أسباب تدهور المنشآت البيتونية المسلحة شيوعاً في الساحل السوري، ويمكن اعتبار تكرين البيتون أحد الأسباب الرئيسة لحدوث ذلك، كون الطبيعة المناخية في الساحل السوري تعتبر مساعدة على حدوث تكرين البيتون بمعدل عالٍ نسبياً. أجري في هذا البحث دراسة حقلية لعمق التكرين في ركائز عدد من الجسور الواقعة بين محافظتي طرطوس وحمص ، وتبين من خلال هذه الدراسة أن ركائز تلك الجسور تعاني من معدلٍ عالٍ لتكرين البيتون حيث كانت القيمة الوسطية لثابت نفاذية البيتون تساوي $(5.461 \text{ mm/year}^{0.5})$ بالإضافة لوجود نقص واضح في سماكة طبقة التغطية البيتونية لفولاذ التسليح والتي كانت معدومة في عدد من الحالات، مما أدى أو قد يؤدي لاحقاً إلى صدأ فولاذ التسليح وما قد ينتج عن ذلك من تشققات وانسلاخات في البيتون أو فقدان السلامة الإنشائية للمنشأ على المدى الطويل.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

** مدرس في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

*** طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Influence of Concrete Carbonation on Durability of a Number of Road Bridges in Syrian Coastal Region

Dr. Zakai Tarifi *
Dr. Nazih Mansor**
Alaa Mayya ***

(Accepted 13/6/2005)

□ ABSTRACT □

Corrosion of reinforcement steel is considered one of the most common reasons for reinforcement concrete structures deterioration in Syrian Coastal region. The main cause of this could be the concrete carbonation, due to the Syrian Coastal region climate conditions which allows a high rate of carbonation process.

In this field research a study was done on the pillars of a number of bridges located between Tartous and Homs. The results show that these pillars suffer from a high rate of carbonation (with an average value of about $5.461\text{mm/year}^{0.5}$ for concrete permeability constant), together with clear deficiency in the concrete cover thickness of the reinforcement bars, which may have caused, or might cause in the future, corrosion to the steel bars. This, in turn, might develop cracks and spalling in concrete cover and damage of these bridges' structural safety in the long term.

* Associate Professor At The Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

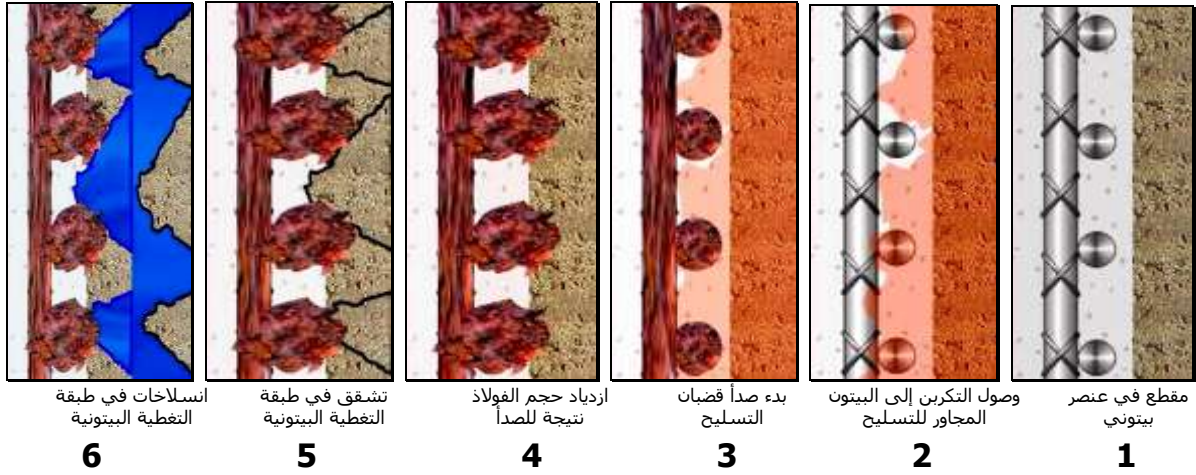
** Lecturer At The Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Master Student At The Department Of Structural Engineering, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة (Introduction):

يعتبر تآكل البيتون (Carbonation of Concrete) من أحد الأسباب الهامة لتدهور (deterioration) المنشآت البيتونية المسلحة ، ورغم أن التآكل يعطي تأثيرات إيجابية للبيتون من خلال زيادة كل من : مقاومة الضغط [1] ، قساوة السطح الخارجي ، مقاومة اختراق الكلوريدات ، مقاومة الصقيع والكبريتات [2],[3] إلا أنه يخفض قلوية البيتون (alkalinity) وينتج عن ذلك فقدان الحماية السلبية (Passive Protection) التي يؤمنها البيتون لفولاذ التسليح الموجود ضمنه [4]، وتآكل هذه القضبان (Corrosion) كما يؤدي إلى زيادة التدهور الناتج عن أسباب أخرى .

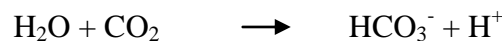
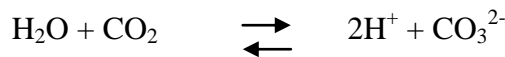
وبما أن حجم صدأ فولاذ التسليح أكبر من المادة المكونة له [2] ، لذا فإنه نتيجة لصدأ فولاذ التسليح تتولد قوى شادة في طبقة التغطية البيتونية مما يؤدي إلى حدوث تشققات فيها (Cracks) ، وإذا أهملت معالجة ذلك تحدث انسلخات متلاحقة (Spalling)، شكل (1)، وهذا يمكن أن ينتج عنه مشاكل خطيرة سواء من حيث الكلفة العالية للصيانة أو فقدان السلامة الإنشائية إذا لم تتخذ إجراءات لمنع تقدم الصدأ.

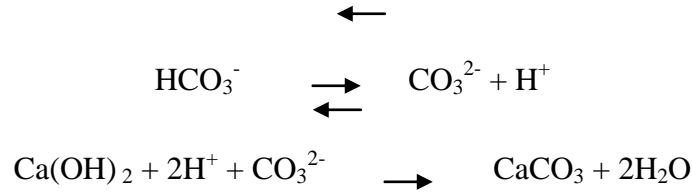


الشكل (1): مراحل انتشار التآكل في البيتون وصولاً إلى حدوث التشققات الانسلخات.

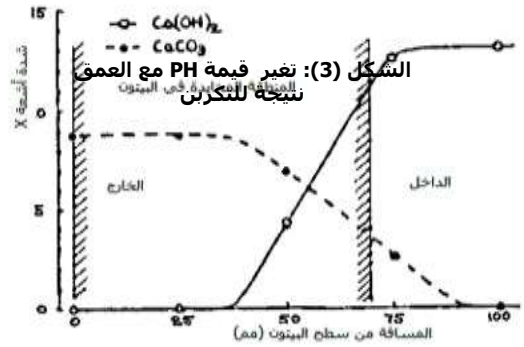
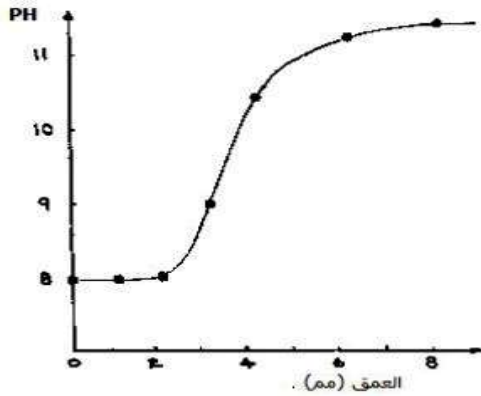
آلية تآكل البيتون (Carbonation Process) :

البيتون مادة متوسطة المسامية [5] ، لذا فإنه يسمح لغازات الجو بالتغلغل ضمنه ، ومن بين هذه الغازات غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي تبلغ نسبته في الهواء العادي 0.03% حجماً [2],[6],[7] . تبدأ عملية التآكل بانتشار غاز ثاني أكسيد الكربون في البيتون ، ومن ثم انحلاله في الماء الموجود في مسام البيتون مكوناً محلولاً حمضياً ضعيفاً . يتفكك هذا الحمض إلى كربونات وشوارد الهيدروجين، ومن ثم يتفاعل مع المركبات القلوية الموجودة في ماء المسام وبالأخص مركب هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ مشكلاً كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ [8]، ويمكن تلخيص المراحل المختلفة لعملية التآكل بالمعادلات الآتية [9]:





ومع تقدم التآكل يستنفذ هيدروكسيد الكالسيوم الحر، شكل (2)، مما يؤدي إلى انخفاض قيمة الأس الهيدروجيني PH للبيتون وذلك ابتداء من السطح الخارجي وباتجاه داخل العنصر [10]، شكل (3)، إلى قيمة أقل اختلفت المراجع في تحديدها، والشكل (4) يبين القيم المختلفة التي أوردتها المراجع يقابلها رقم المرجع الذي أوردتها، وعند وصوله إلى البيتون المحيط بقضبان التسليح فإن هذا الانخفاض في قلوية البيتون سوف يؤدي إلى كسر طبقة الحماية السلبية المتكونة حول قضبان التسليح مما يجعلها تصدأ بوجود مقدار كافٍ من الرطوبة والأكسجين [4].



الشكل (2): والمنطقة

رقم المرجع	قيمة الأس الهيدروجيني
[2]	8
[4]	10 - 9
[5]	10 - 9.5
[7]	11

الشكل (4): جدول يوضح القيم التي أوردتها المراجع المختلفة لقيمة الأس الهيدروجيني [PH] التي تشكل الحد الفاصل بين البيتون المتآكل والبيتون غير المتآكل .

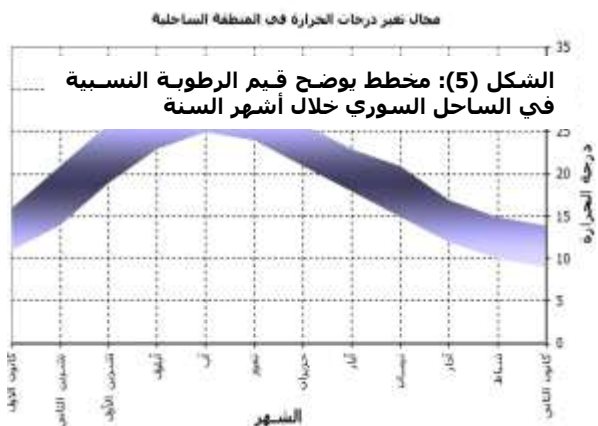
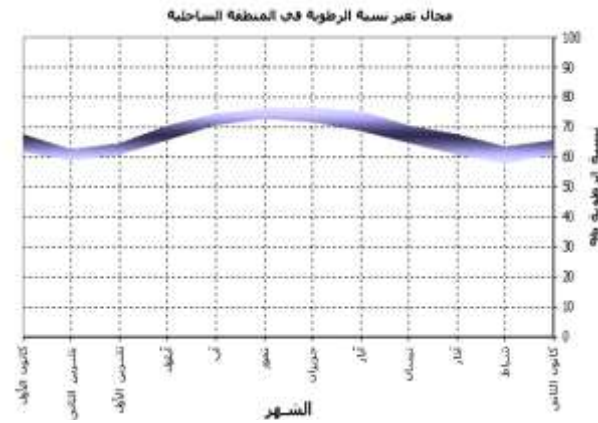
العوامل المؤثرة على عمق الطبقة البيتونية المتآكلة

(Factors Influencing Carbonation):

يمكن تقسيم العوامل التي تؤثر على عمق الطبقة البيتونية المتآكلة إلى :

(1) عوامل تتعلق بطبقة التغطية البيتونية : حيث تؤثر نوعية البيتون المتصلب، بنيته الفيزيائية، ونفاذيته للهواء وللماء على سرعة انتشار التكرين ويحدد ذلك من خلال المواد المكونة للبيتون والطرق المستخدمة في تحضيره ويتضمن ذلك محتوى الاسمنت ونوعيته، نسبة الماء إلى الاسمنت، نوع الحصىات وتدرجها، درجة الاكتناز وظروف العناية بالبيتون بعد الصب [11]. ويشكل عام سوف تنخفض نفاذية البيتون لغاز ثاني أكسيد الكربون (و ينخفض معدل التكرين) باستخدام كمية ماء أقل ومحتوى اسمنت أعلى. أيضاً تزداد النفاذية في حال الاكتناز غير الكافي والمعالجة غير الجيدة للبيتون والتي تؤخر إمالة الاسمنت.

(2) الظروف البيئية المحيطة بالعنصر البيتوني : إن الظروف البيئية المحيطة بالبيتون مثل الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون يمكن أن تلعب دوراً هاماً في تحديد معدل وعمق التكرين. ويكون معدل التكرين في درجات الحرارة العادية أعظماً عند رطوبة نسبية بحدود 50-75 % . أيضاً يزداد معدل التكرين بزيادة كل من درجة الحرارة وتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون والشكلين (5) و (6) يبينان مجالات تغير الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة في المنطقة الساحلية السورية* .



الشكل (6): مخطط يوضح قيم درجات الحرارة في الساحل السوري خلال أشهر السنة

* المعطيات من مركز الأرصاد الجوية في مطار الشهيد باسل الأسد في اللاذقية.

(3) مدة تعرض العنصر البيتوني إلى ظروف البيئة المحيطة : تشير الأبحاث إلى أن معدل الزيادة في عمق الطبقة البيتونية المتكرنة (carbonation rate) يتناقص كلما كانت مدة تعرض البيتون إلى الوسط الخارجي أطول وبشكل تقريبي يتناسب عمق التآكل مع الجذر التربيعي لمدة التعرض ومن خلال البحث الحقلية الذي تمّ إجراؤه واعتماداً على ما سبق فإنه يمكن توقع عمق تآكل يبلغ 12 مم بعد خمس سنوات من التعرض بينما يصبح هذا العمق بحدود 38 مم بعد خمسين سنة.

العلاقات الرياضية المستخدمة لتقدير عمق الطبقة البيتونية المتكرنة

(mathematical equations for assessment the depth of carbonation)

يستخدم عادة لتقدير عمق الطبقة البيتونية المتكرنة معادلة لها الشكل العام :

$$d = k t^n \quad (1)$$

حيث

d : عمق الطبقة البيتونية المتكرنة ، وتقدر بالـمم.

t : عمر المنشأ ، ويقدر بالسنوات.

K,n : ثوابت.

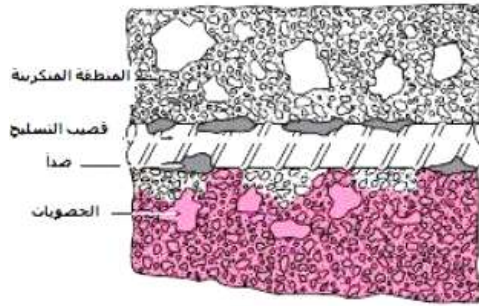
غالباً ما تؤخذ قيمة n مساوية لـ 0.5 .

أما الثابت k فإن قيمته تعتمد على عدد من العوامل والتي تحدد نفاذية البيتون وتوجد طريقتين رئيسيتين لتقدير قيمته : تعتمد الأولى على نوعية المواد المكونة للخلطة البيتونية وعلى نسبتها في هذه الخلطة، بينما تعتمد الطريقة الثانية على قيمة مقاومة الضغط للبيتون، وتوجد العديد من العلاقات الرياضية التجريبية لحساب قيمة k.

طرق قياس عمق الطبقة البيتونية المتكرنة

(Determining Depth of Carbonation)

يوجد عدة طرق لقياس عمق الطبقة البيتونية المتكرنة في العناصر البيتونية. حيث يمكن تحديد محتوى هيدروكسيد الكالسيوم و كربونات الكالسيوم بواسطة أشعة إكس (X-Ray)، التحليل الكيميائي أو الحراري لعينات مناسبة مأخوذة من أعماق مختلفة، ويمكن استخدام المجهر (Petrological microscope) لتحديد المناطق المتكرنة وغير المتكرنة في البيتون [6].



الشكل (7): قياس عمق التآكل باستخدام محلول الفينول فتالين

إلا أنه يتم عادة الحصول على مؤشر كافٍ لعمق الطبقة البيتونية المتكرنة باستخدام محاليل حساسة للقلوية عن طريق تغيير لونها . ويوجد العديد من المشعرات المستخدمة إلا أن أكثرها استخداماً هو المحلول المركب من الفينول فتالين والكحول الإيثيلي والماء [2],[6] وهو المحلول الذي استخدم في قياس عمق التآكل في ركائز الجسور التي شملتها الدراسة الحقلية .

والطريقة المتبعة في قياس عمق التآكل هي بكسر قطعة من البيتون بحيث تكون سطوحها متعامدة مع السطح الخارجي للعنصر البيتون

، ثم رش هذه القطعة أو مكان أخذها بمحلول الفينول فتالئين، وعندها يظهر مباشرةً تلوين باللون الأحمر الوردي في المناطق الداخلية غير المعرضة للتكرين والتي تحافظ على قلويتها العالية بينما لا يلاحظ أي تلوين في الطبقة السطحية والتي سبب التكرين انخفاضاً في قلويتها شكل (7) عندها يمكن قياس عمق التكرين بأخذ العمق الوسطي للطبقة غير المتلونة اعتباراً من سطح البيتون [10].

طريقة تقدير العمر الاستثماري للعنصر البيتوني

(Determine of service life):

من أجل مقارنة معدل التكرين بين المنشآت المختلفة لا بدّ من ربط عمق التكرين مع عمر المنشأ. وكما ذكر سابقاً فإنه يتم ربط عمق التكرين مع الجذر التربيعي للزمن وفق العلاقة (1) وباعتبار $n=0.5$:

$$d = k \sqrt{t} \quad (1)$$

وبعد قياس عمق الطبقة البيتونية المتكرنة ومعرفة عمر المنشأ يمكن استنتاج عامل نفاذية البيتون الوسطية K_{av} اعتماداً على العلاقة السابقة، وفق الآتي:

$$K_{av} = \frac{d_{av}}{\sqrt{t_o}} \quad (2)$$

حيث:

d_{av} : متوسط عمق الطبقة البيتونية المتكرنة، وتقدر بالملم.

t_o : عمر المنشأ عند قياس عمق التكرين، ويقدر بالسنوات.

وحيث أنه يمكن اعتبار أن صدأ فولاذ التسليح يمكن أن يبدأ عند وصول التكرين إلى البيتون المحيط بفولاذ التسليح، أي بمعنى آخر عند تكرين كامل طبقة التغطية البيتونية لقضبان التسليح، فإنه يمكن عندها تقدير الزمن اللازم قبل بدء الصدأ في المنشأ (t) من خلال العلاقة (3) :

$$t = (d / k_{av})^2 \quad (3)$$

حيث: d : عمق طبقة التغطية البيتونية لفولاذ التسليح، وتقدر بالملم.

ومن خلال طرح قيمة t_o من t يمكن تقدير العمر المتبقي للمنشأ المدروس قبل بدء الصدأ.

دراسة تكرين البيتون لنماذج مختارة من الجسور الطرقية الواقعة في المنطقة

الساحلية (Carbonation investigation in selected samples of road bridges located at coastal region):

آلية اختيار نماذج الجسور (Selection of bridges Sample):

تم اختيار الجسور الواقعة على الطريق الجديد بين طرطوس وحمص والتي تشكل معبراً للسيارات وليست واقعة على أنهار أو سكك حديدية للقطارات بحيث كانت ظروف التعرض لغاز ثاني أكسيد الكربون وللحرارة وللرطوبة مقاربة نسبياً، وكان لجميع الجسور تاريخ إنشاء متقارب حيث تم إنشاء معظمها بين عامي 1980 و 1985، وقيست أعماق التكرين في ركائز هذه الجسور بسبب كون جميعها مصبوبة في المكان وليست مسبقة الصنع أو مسبقة الإجهاد ولسهولة الوصول إليها مقارنة مع الجوائز أو البلاطات، كما حددت أمكنة إجراء القياسات

على ارتفاع 1.5 متر تقريباً اعتباراً من سطح الزفت كون هذه المناطق لا تتأثر بتعشيش البيتون أو برطوبة الأرض مثل أسفل الركائز .

المعدات المستخدمة فى إجراء الدراسة الحقلية (Equipment):

تمّ استخدام المعدات الآتية فى قياس عمق التكرين فى ركائز الجسور :

- مطرقة + أزميل.
- مسطرة قياس.
- فرشاة لتنظيف الغبار وغيره.
- آلة تصوير فوتوغرافية.
- محلول الفينول فتالئين .
- نظارات حماية للعينين.

نتائج الدراسة الإحصائية الحقلية (Results of Field Study) :

توضح الأشكال من (8) حتى (15) نتائج المعاينة البصرية ونتائج الاختبارات لأعماق التكرين لكل جسر من الجسور التي تمّ اختيارها وفق الآلية الآتية الذكر :

الشكل (8) : نتائج قياس عمق التكرين في جسر ميعار شاكر



نموذج لتمشيش التيون و صدأ التسليح

نموذج لقياس عمق التكرين في الركائز

منظر عام لجسر ميعار شاكر

معلومات جسر ميعار شاكر							
ملاحظات	الرمز المتوقع قبل ظهور الصدأ (سنة)	عامل تآكل تآكلية التيون	عمق الطبقة المتكربنة (مم)	عمق طبقة التغطية التيونية (مم)	طبقة تغطية إضافية	عمر الجسر عند أحد القياسات (سنة)	اسم الجسر
وجود صدأ في بعض قضبان التسليح، وجود تعشيش وظهور فضيان التسليح.	x	6.535	31	من مكشوفة حتى 30 مم	لا توجد طبقة أو دهان	25 - 20	ميعار شاكر
	x	6.957	33				
	7.5 - x	5.481	26				

الشكل (9) : نتائج قياس عمق التكرين في جسر المنطار

 <p>نموذج لتعشيش السبوت و صدأ التسليح</p>	 <p>نموذج لقياس عمق التكرين في الركائز</p>	 <p>منظر عام لجسر المنطار</p>						
<p>معلومات جسر المنطار</p>								
<p>ملاحظات</p>	<p>الرمز المتوقع قبل ظهور الصدا (سنة)</p>	<p>عامل تآكله السبوت</p>	<p>عمق الطبقة المكونة (مم)</p>	<p>عمق طبقة التغطية السبوتية (مم)</p>	<p>طبقة تغطية اضافية</p>	<p>عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)</p>	<p>سنة الإنشاء</p>	<p>اسم الجسر</p>
<ul style="list-style-type: none"> وجود صدأ في بعض قضبان التسليح. وجود تعشيش وظهور قضبان التسليح. 	<p>7-x</p>	<p>7.379</p>	<p>35</p>	<p>من مكشوفة حتى 40 مم</p>	<p>لا توجد طبقة أو دهان</p>	<p>25 - 20</p>	<p>1985 - 1980</p>	<p>المنطار</p>
	<p>12.5-x</p>	<p>6.746</p>	<p>32</p>					
	<p>x</p>	<p>8.433</p>	<p>40</p>					

الشكل (10) : نتائج قياس عمق التآكل في معبر الصفاوة



نموذج لصدا التسليح في بلاطة الجسر



نموذج لقياس عمق التآكل في الركانر






مظهر عام لمعبر الصفاوة

معطيات معبر الصفاوة

ملاحظات	الرمز المرفوع قبل ظهور الصدا (سنة)	عامل تعاقب السنين	عمق الطبقة المكربنة (مم)	عمق الطبقة التسليحية (مم)	طبقة إضافية	عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)	سنة الإنشاء	اسم الجسر
<ul style="list-style-type: none"> لم يتم معرفة عمق طبقة التسليحية البيتونية لقضبان التسليح إلا أنه توجد قضبان مكشوفة. وجود صدا في بعض قضبان التسليح الواقعة في أطراف بلاطة الجسر. 	x	8.222	39	من مكشوفة حتى غير معروفة	لا توجد طبقة أو دهان	25 - 20	1985 - 1980	الصفاوة
	x	6.325	30					
	x	9.908	47					

ملاحظات		الرمز المرفوع قبل ظهور الصفا (سنة)	عامل تآكلية السبون	عمق الطبقة المتآكلة (مم)	عمق طبقة التقطية السبوتية (مم)	طبقة تقطية اضافية	عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)	سنة الانشاء	اسم الجسر
<ul style="list-style-type: none"> لم يتم معرفة عمق طبقة التقطية السبوتية لفضيان التسليح. لم يلاحظ وجود صدا في فضيان التسليح. 	غير معروف	4.041	14	غير معروف	لا توجد طبقة او دهان	12	1993	النفرقة A	
	غير معروف	3.175	11	غير معروف		12	1993		
	غير معروف	3.464	12	غير معروف		12	1993		




ملاحظات		الرمز المرفوع قبل ظهور الصفا (سنة)	عامل تآكلية السبون	عمق الطبقة المتآكلة (مم)	عمق طبقة التقطية السبوتية (مم)	طبقة تقطية اضافية	عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)	سنة الانشاء	اسم الجسر
 <p>نموذج لقياس عمق التآكل في الركام</p>	 <p>مظهر داخلي لجسر النفرقة A</p>								
 <p>مظهر عام لجسر النفرقة A</p>									

الشكل (12) : نتائج قياس عمق التكرس في جسر أروونة



معلومات جسر أروونة								
ملاحظات	الرمز المتوقع قبل ظهور الصفا (سنة)	عامل تنازية البتون	عمق الطبقة المكونية (مم)	عمق طبقة البتوية (مم)	طبقة إضافية	عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)	سنة الإنشاء	اسم الجسر
وجود صفا في بعض قضبان التسليح. وجود تفتيش و ظهور قضبان التسليح. يمكن ملاحظة وجود زيادة كبيرة في العمر الاستعماري عند زيادة سماكة طبقة التغطية البتوية من 20 مم الى 30 مم.	81 - 23.5	2.951	14	30 - 20	لا توجد طبقة او دهان	25 - 20	1985 - 1980	أروونة
	33.5-2.5	4.006	19					
	28 - 0	4.216	20					

ملاحظات		الرمز المرفوع قبل ظهور الصدا (سنة)	عامل تآكل البيتون	عمق الطبقة المتآكلة (مم)	عمق طبقة التغطية السيتوية (مم)	طبقة تغطية إضافية	عمر الجسر عند أخذ القياسات (سنة)	سنة الإنشاء	اسم الجسر
<ul style="list-style-type: none"> وجود صدأ في بعض قضبان التسليح. وجود تعشيش وظهور قضبان التسليح. 	*	4.849	23	20 - 5	لا توجد طبقة أو دهان	25 - 20	1985 - 1980	باروجة	
	2.5 - *	4.006	19						
	*	4.638	22						

معلومات جسر باروجة		
 <p>نموذج لتعشيش البيتون وصدأ التسليح</p>	 <p>نموذج لصدأ عمق التآكل في الركام</p>	 <p>منظر عام لجسر باروجة</p>



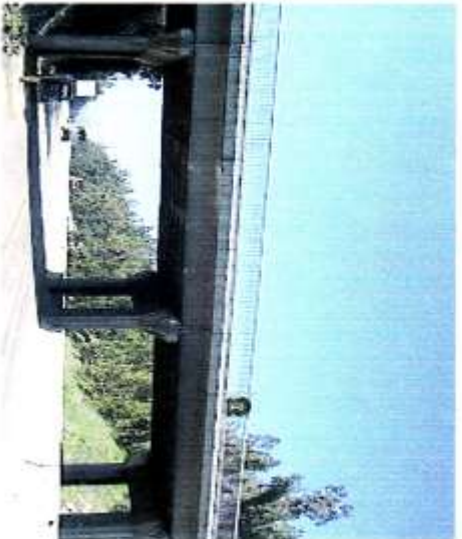
الشكل (14): نتائج قياس عمق التكرين في جسر الريحانية

 <p>نموذج لعشيش البيتون و صدأ التسليح</p>	 <p>نموذج للشفقات في البيتون والناحية من صدأ التسليح</p>	 <p>مظهر عام لجسر الريحانية</p>
---	---	---

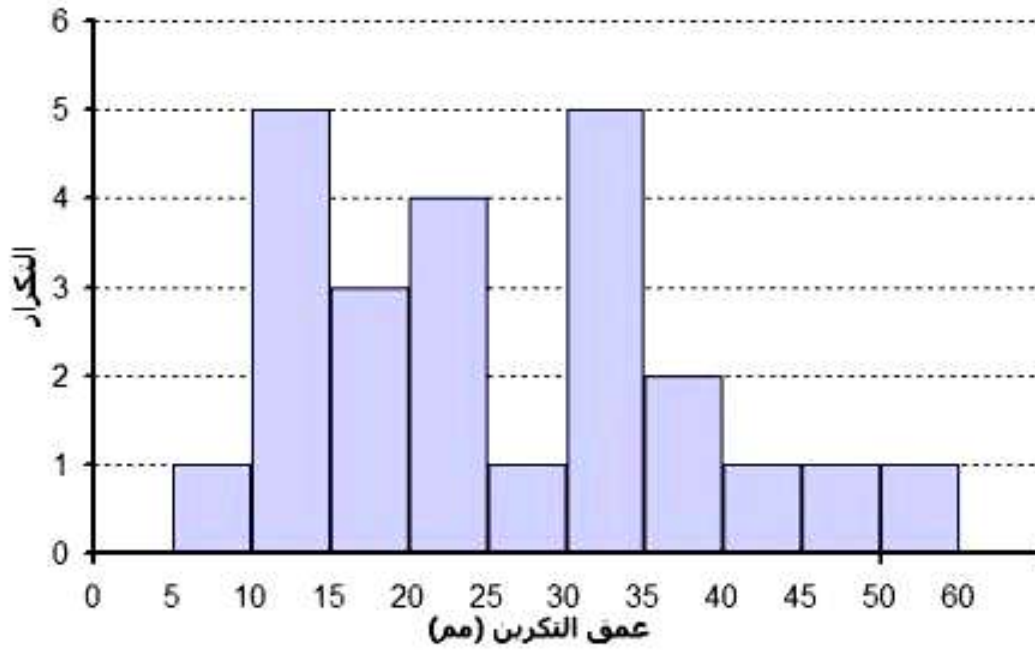
معطيات جسر الريحانية

ملاحظات	الرمز المتوقع قبل ظهور الصدا (سنة)	عامل تعاقبه السنون	عمق الطبقة المتكزبة (مم)	عمق طبقة التغطية السنوية (مم)	طبقة زغطية اضافية	عمر الجسر عند احدث القياسات (سنة)	سنة الإنشاء	اسم الجسر
<ul style="list-style-type: none"> وجود صدأ في بعض قضبان التسليح. وجود تعشيش وظهور قضبان التسليح. وجود تشققات في بعض الركائز تدل على وجود صدأ في قضبان التسليح 	x	10.541	50	20 - 5	لا توجد طبقة او دهان	25 - 20	1985 - 1980	الريحانية
<ul style="list-style-type: none"> وجود صدأ في بعض قضبان التسليح. وجود تعشيش وظهور قضبان التسليح. وجود تشققات في بعض الركائز تدل على وجود صدأ في قضبان التسليح 	x	6.746	32	20 - 5	لا توجد طبقة او دهان	25 - 20	1985 - 1980	الريحانية
<ul style="list-style-type: none"> وجود صدأ في بعض قضبان التسليح. وجود تعشيش وظهور قضبان التسليح. وجود تشققات في بعض الركائز تدل على وجود صدأ في قضبان التسليح 	5.5 - x	3.795	18	20 - 5	لا توجد طبقة او دهان	25 - 20	1985 - 1980	الريحانية

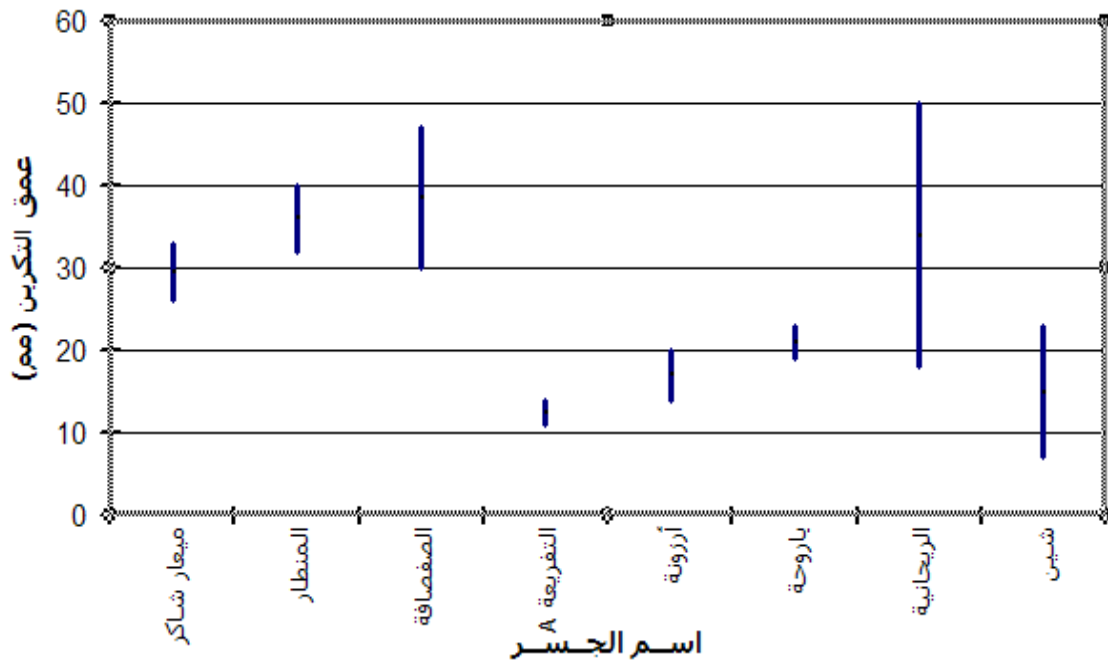
ملاحظات		الرمز المرفوع قبل ظهور الصدا (سنة)	عامل تعاقبه البيتون	عمق الطبقة المكسرة (مم)	عمق طبقة النقطة السوية (مم)	طبقة تعطفه اصافيه	عمر الجسر عند اخذ القياسات (سنة)	سنة الانشاء	اسم الجسر
وجود صدا في بعض قضبان التسليح و وجود اسلاكات في البيتون. وجود خمسة حوائير تعرضت للصد من قبل المركبات مما أدى لتكسر في طبقة النقطيه وتكسيف وانقطاع لبعض قضبان التسليح.	81 - x	1.476	7	15 - 5	لا يوجد طبقة أو دهان	25 - 20	1985 - 1980	شبين	
	19 - x	2.319	11						
	x	4.849	23						

معلومات جسر شبين		
 <p>نموذج للصدا في التسليح والاسلاكات في البيتون</p>	 <p>نموذج للصدا في التسليح والاسلاكات في البيتون</p>	 <p>منظر عام لجسر شبين</p>

الشكل (15) : نتائج قياس عمق التآكل في جسر شبين



شكل (16) : مخطط يبين عدد مرات تكرار كل قيمة لعمق التكرين



شكل (17) : مخطط يبين المجالات المقاسة لعمق التكرين لكل جسر

مناقشة النتائج واستنتاجات عامة حول الجسور المدروسة:

1. تقع القيم الأكثر تكراراً لعمق المنطقة البيتونية المتآكلة ضمن المجال [10-35] مم كما هو مستنتج من الشكل (16).
2. تبلغ القيمة الوسطية العامة لعامل نفاذية البيتون للجسور المدروسة $K_{av} = 5.461$ وبالتعويض في المعادلة (1) نجد أن $d=5.461\sqrt{t}$ و يمكن تقدير الزمن الوسطي اللازم لبدء صدأ قضبان التسليح في العناصر البيتونية المسلحة وذلك حسب سماكة طبقة التغطية البيتونية فيها وفق الجدول الآتي:

سماكة طبقة التغطية البيتونية (مم)	الزمن المقدر لبدء الصدا (سنة)
20	13
25	21
30	30
35	41
40	53

3. يلاحظ وجود تقارب في القيم المقاسة لعمق التآكل في كل جسر من الجسور الآتية : جسر ميعار شاكر - جسر المنطار - جسر التفريعة A - جسر أرزونة - جسر باروحة كما هو موضح في الشكل (17) مما يعني وجود تقارب في نفاذية البيتون في المناطق التي قيس فيها عمق الطبقة البيتونية المتآكلة.
4. يلاحظ أن القيم المقاسة لعمق التآكل في كل من الجسور الآتية : جسر الصفصافة - جسر الريحانية - جسر شين هي قيم متباعدة مما يعني وجود اختلاف كبير نسبياً في عامل نفاذية البيتون بين منطقة وأخرى في نفس الجسر وهذا موضح في الشكل (17).

التوصيات:

- زيادة سماكة طبقة التغطية البيتونية لقضبان التسليح إلى 4 سم حيث ينتج عن ذلك زيادة كبيرة في العمر الاستثماري للمنشأ.
- الاهتمام بجودة تنفيذ البيتون بحيث يكون متجانساً في الأجزاء المختلفة للمنشأ.
- استخدام طبقات تغطية إضافية مثل الطينة وبعض أنواع الدهانات والتي تشكل حاجزاً بين البيتون والوسط الخارجي وتحمي البيتون من ظاهرة التآكل.
- إجراء الصيانة الدورية للجسور ومعالجة مناطق التعشيش في البيتون.
- معالجة مناطق الصدأ في قضبان التسليح قبل انتشار الصدأ وظهور التشققات في طبقة التغطية.

المراجع:

.....

- [1] Chi, Jack M. - Huang, Ran - Yang, C. C. 2002 – Effects of Carbonation on Mechanical Properties and Durability of Concrete Using Accelerated Testing method. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.10, No.1, pp.14-20.
- [2] Parrott, L. J. 1987 - *A review of carbonation in reinforcement concrete*. BCA, BRE.
- [3] *Concrete Carbonation in Canadian Buildings*. Research Highlights – Technical Series 93-218.
- [4] BRE Digest 444. 2000 - *Corrosion of steel in concrete. Part 1: Durability of reinforced concrete structure*. CRC Ltd, U.K.
- [5] Crane, Alan F. - *Corrosion of reinforcement in concrete construction*. USA.
- [6] BRE Digest 405. 1995 - *Carbonation of concrete and its effect on durability*. CRC Ltd, U.K.
- [7] Mayas, G. 1992 - *Durability of concrete Structures: Investigation, Repair, Protection, E & FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, London, U.K.*
- [8] Jianzhuang Xiao – Jie Li – Bolong Zhu – Ziyang Fan 2002 – Experimental Study on Strength and Ductility of Carbonated Concrete Elements. *Construction and Building Materials*, Elsevier Science Ltd, Vol.16, pp.187-192.
- [9] Ihekweba, N. M. – Hope, B. B. – Hansson, C. M. 1996 - *Carbonation and electrochemical chloride extraction from concrete*. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 7, pp. 1095-1107.
- [10] BS EN 13295: 2004 – Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete: Test Method: Determination of Resistance to Carbonation. Cen, BS.
- [11] Lo, Y. – Lee, H. M. - 2002 – Curing Effects on Carbonation of concrete using a Phenolphthalein Indicator and Fourier-Transform infrared Spectroscopy. *Building and Environment*, Pergamon, Vol.39, pp.507-514.