Study of the Phenomenon of Reinforcing Steel Rust in Reinforced Concrete Structures in Syrian Coast Cities - Problem and Solutions

Dr. Ali Turikieh*

(Received 30 / 9 / 2019. Accepted 20 / 10 / 2019)

□ ABSTRACT □

Corrosion of reinforcing steel in reinforced concrete structures on the Syrian coast is a serious problem that requires extensive attention and research due to the increase in chloride salts in the adjacent soil and the saturation of atmospheric humidity in the coastal area with chlorides. The high temperatures in summer and low in winter encourage the contraction of both plastic and dry, and that the cracks facilitate the penetration of harmful ions in the soil, water and atmosphere surrounding the facilities causing rupture of the protective layer surrounding the rebar and the occurrence of rust phenomenon with cracking and fragmentation of the concrete cover surrounding the rebar. In addition, there may be structural damage in the members of reinforced concrete due to loss of adhesion between the iron and concrete and corrosion of the rebar section and in some cases the damage extends to structural failure.

This research aims to study the phenomenon of rust in armed concrete installations in the Syrian coast and to know their causes and effects and to know the forms of defects suffered and know the factors to control them. Armed forces that suffer from the deterioration of the concrete in the structural elements, through which they were inspected on these structures, and identify the forms of defects and cracks in them, in addition to know the causes, and conduct a series of tests, and analysis of the results as assessed Develop the necessary scientific recommendations to reduce or prevent the occurrence of such defects in the future.

The results of the analysis and evaluation of the studied cases showed the need to adjust the design and implementation specifications given by the Syrian Arab code, which should be followed in accordance with the international codes to avoid the corrosion of reinforcing steel in reinforced concrete.

Keywords: Reinforcing steel, corrosion, chloride, inhibitors, rust, electrolyte solution

* **Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**.

دراسة ظاهرة صدأ حديد التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة في مدن الساحل السوري – مشكلة وحلول

الدكتور علي تريكية*

(تاريخ الإيداع 30 / 9 / 2019. قُبِل للنشر في 20/ 10 / 2019)

□ ملخّص □

يُعد تآكل حديد التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة في الساحل السوري من المشاكل الخطيرة التي تحتاج إلى عناية وبحوث موسعة نظراً لزيادة نسبة أملاح الكلوريدات في التربة المجاورة للشاطئ وتشبع رطوبة الجو في المنطقة الساحلية بالكلوريدات. كما أن ارتفاع درجات الحرارة صيفاً وانخفاضها شتاءً يشجع على حدوث الانكماش بنوعيه اللدن والجاف، وإن حصول التشققات يُسهل اختراق الأيونات الضارة المتواجدة في التربة والمياه والجو المحيط بالعناصر الإنشائية مسبباً تكسر طبقة الحماية المحيطة بحديد التسليح وحصول ظاهرة الصدأ مع تشقق وتشظي الغطاء الخرساني المحيط بحديد التسليح إضافة إلى ذلك قد يحصل ضرر إنشائي في أعضاء الخرسانة المسلحة بسبب فقدان التلاصق بين الحديد والخرسانة وتآكل مقطع حديد التسليح وفي بعض الحالات يمتد الضرر إلى فشل إنشائي.

يهدف هذا البحث إلى دراسة ظاهرة الصدأ في المنشآت الخرسانية المسلحة في الساحل السوري ومعرفة أسبابها وتأثيراتها ومعرفة أشكال العيوب التي تعاني منها وعوامل السيطرة عليها ، ولتحقيق هدفنا قمنا برصد معطيات الكودات ومواصفات التصميم لتفادي الصدأ في المنشآت الخرسانية المسلحة ، وإجراء دراسة ميدانية للعديد من المنشآت الخرسانية المسلحة التي تعاني من تدهور البيتون المسلح في عناصرها الإنشائية ، تم من خلالها الكشف على تلك المنشآت, وتحديد أشكال العيوب والتصدعات فيها، بالإضافة إلى معرفة أسبابها، وإجراء مجموعة من الاختبارات، وتحليل نتائجها كما قمنا بوضع التوصيات العلمية اللازمة للإقلال أو منع حدوث مثل هذه العيوب مستقبلاً .

بينت نتائج التحليل والتقييم للحالات المدروسة ضرورة التقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ التي يعطيها الكود العربي السوري التي يلزم اتباعها وفق ما تنص عليه الكودات العالمية لتفادي صدأ حديد التسليح في الخرسانة المسلحة.

الكلمات المفتاحية: حديد التسليح، التآكل، الكلوريد، مُثبطات، صدأ، المحلول الإلكترو ليتي

* **أستاذ مساعد– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

يُعرّف التآكل (Corrosion) بأنه إفساد المادة أو خواصها نتيجة تفاعلها مع مؤثرات خارجية أو داخلية، أو هو التلف الناتج عن تفاعل مادتين أو أكثر بوجود وسط مساعد مثل الحرارة والرطوبة المشبعة بالأملاح في المناطق الساحلية المشبعة بأملاح الكلوريدات، ويحدث التآكل في المنشآت ببطء شديد وهدوء لكن الخسائر التي يُسببها مرتفعة جداً ، فمنها خسائر مادية واقتصادية ومنها صحية تتعلق بصحة الإنسان وتُؤثر عليه مباشرة وعلى البيئة المحيطة به. تتأثر المنشآت الصناعية والمباني الخدمية مثل المدارس والمستشفيات ومحطات التوليد وأعمدة نقل الطاقة والجسور والطرق والموانئ والمطارات سلباً بحدوث التآكل في عناصرها مما يؤدي إلى أشكال مختلفة من التشققات والتصدعات تؤدي إلى تلف وانهيار المباني الخرسانية وقصر عمرها والإقلال من فترة صلاحيتها وكفاءتها التشغيلية مما يزيد من تكلفة صيانتها وتشغيلها، كما أن شبكات نقل وتوزيع المياه ومحطات الضخ وخزانات المياه تتعرض إلى التآكل سواء من داخل خطوط النقل والتوزيع وملحقاتها أو من خارج الخطوط والأجزاء الظاهرة والتي تتعرض لتغيرات مختلفة بيئية ومناخية [1].

تُعاني المنشآت الهندسية المنفذة من الخرسانة المسلحة على نحو عام والمنشآت الساحلية بشكل خاص كثيراً من العيوب، والتي قد تصل أحياناً إلى أشكال مختلفة من التشققات والتصدعات تؤدي إلى تلف وانهيار المباني الخرسانية قد تعود بأسبابها إلى قصور في التصميم، أو يرجع إلى أخطاء في الحسابات المتعلقة بالحمولات، أو أخطاء في التحليل الإنشائي أو نتيجة ظروف الاستثمار أو عدم أخذ كافة الظروف البيئية المحيطة بعين الاعتبار عند التصميم ، أو نتيجة عدم الدقة في التنفيذ، أو عدم إجراء الصيانة الدورية لهذه المنشآت [2, 3] .

تتنوع الأسباب المؤدية لحدوث هذه العيوب، من أسبا ب فنية وتصميمة وانشائية وتنفيذية وأخرى تعود لعوامل بيئية، وباختصارفمن الأسباب العامة التي تنجم عنها مشاكل المباني [4,3,2,1] هي:

1- عدم دقة التصميم الإنشائي والإهمال في الأخذ بالمعايير والكودات وعمل حسابات خاطئة للأحمال بأنواعها المختلفة.

2- استخدام مواد سيئة لا تصلح ولا تتوافق مع المواصفات في تنفيذ المنشآت.

3- إهمال في تصميم الخلطة الخرسانية mix design وعدم إجراء الاختبارات اللازمة لضبط جودة المواد المكونة للخلطة البيتونية كالرمل والزلط والماء والإضافات الكيميائية.

4- عدم التقيد بالمواصفات والمخططات أثناء التنفيذ أو التنفيذ بصوره مخالفه لما ورد في المخططات.

5- عدم تفهم أو تقصير المهندس والرقابة وضبط الجودة لكافة الخامات والمواد المستخدمة في مشروعه ومدى تأثيرها عليه، حيث يكتفي معظم المهندسون بالمعاينة الظاهرية للمواد دون عمل الاختبارات لهذه المواد وهنا يجب الاهتمام بصوره أكبر للمواد التي تدخل في الخرسانة مثل الماء والرمل والزلط وحديد التسليح والاسمنت والإضافات.

6- عدم استخدام حديد التسليح وفقا لما ورد بالمخططات وإن لزم التعديل ومراعات عدم عمل الحسابات التصميمية الدقيقة وإجراء الاختبارات المخبرية لضمان المواد ومدى مطابقة الاختبارات للشروط الفنية للمشروع.

7- يجب استلام الحديد ومعاينته قبل شده وتنظيفه من الصدأ السطحي إن وُجِد، ومراعات عدم استخدام أي نوع من أنواع حديد التسليح مجهول المصدر.

8- ظاهرة صدأ فولاذ التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة وعدم اتخاذ الإجراءات والطرق للحماية وللحد منها.

تُعتبر عملية حماية المنشآت ومعالجتها من صدأ حديد التسليح خاصةً من أولى أولويات الدراسات المدنية الخاصة بالمنشآت الخرسانية، فإغفالها وإهمالها يسب الخسائر المادية والبشرية وزيادة مستمرة في تكاليف الاستثمار والتشغيل لتلك المنشآت خصوصا في المنشآت الخرسانية المسلحة المنفذة في المناطق ذات العوامل والظروف القاسية وغير

الملائمة كمدن الساحل السوري، حيث تؤثر الظروف البيئية السائدة في المدن الساحلية على متانة المواد الإنشائية المستخدمة في المباني الخرسانية إذا لم تتوفر الحماية اللازمة لها من التآكل.

ان العمر الافتراضي للمباني الخرسانية لا يقل عن خمسين عاما كحد أدنى وفقا للمعايير الدولية لتصميم المنشآت الخرسانية، ويجب أن تقاوم هذه المباني خلال هذه الفترة جميع العوامل الطبيعية والتشغيلية التي تؤثر على جودة ومتانة المنشآت دون الحاجة الى إصلاحات رئيسية طبعا مع الالتزام بتنفيذ أعمال الصيانة الدورية والوقائية اللازمة لها، إن أكثر البيئات تأثيرا على عمر المنشأة الخرسانية المسلحة هي البيئة البحرية في الساحل السوري بشكل عام من خلال عدة عوامل أهمها:

1- درجة الحرارة المرتفعة نسبياً صيفاً وارتفاع نسبة الرطوبة العالية في الجو المحيط بالمنشآت.

2- ازدياد درجة احتواء الرياح المحملة بالغبار على الأملاح الضارة والرطوبة المرتفعة نسبياً في بعض المناطق (معمل اسمنت طرطوس).

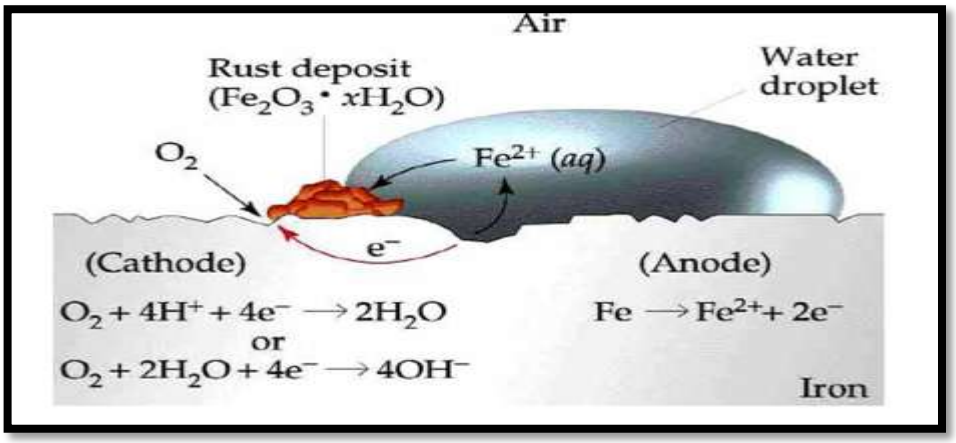
3- تزايد درجة تراكيز الأملاح الضارة في التربة المحيطة بالخرسانة.

4- رذاذ المياه المشبع بالأملاح في المباني القريبة من البحر (الجدار الاستنادي في ميناء الصيد بمدينة جبلة، رصيف الفوسفات في مرفأ طرطوس .... الخ).

5- المواد التي تدخل في الخلطة الخرسانية مثل الرمل والحصى والمياه التي قد تحتوي على نسبة عالية من الأملاح (شاليهات مديرية الزراعة في البسيط).

تُحدثْ هذه العوامل تضررات في المنشآت المنفذة من الخرسانة العادية أو الخرسانة المسلحة مما يؤدي إلى تحليل المكونات الرئيسية للخرسانة، وتآكلها مع التأثير السلبي على قضبان الحديد وعلى التماسك بين قضبان التسليح والخرسانة به [5]الأمر الذي يؤدي الى تأكسدها ومن ثم تآكل الحديد وتكون طبقة من الصدأ تعمل على تشقق الخرسانة. صدأ الحديد له تبعات اقتصادية ضخمة [4] (ولقد قدر أن ربع الحديد المنتج في الولايات المتحدة، على سبيل المثال في إحدى السنوات يستبدل بسبب تلفه بواسطة التآكل (destroyed by corrosion))، ولوقف التآكل to (prevent corrosion) يجب علينا أولاً أن نفهم كيف يحدث التآكل؟

من الحقائق الهامة أن صدأ الحديد يتطلب كلاً من الأكسجين والماء، ولا يحدث في ماء خالٍ من الأكسجين أو في هواء جاف (dry air) الشيء الآخر الملاحظ أن الصدأ يتضمن تنقيراً في سطح المعدن لكنه يترسب في موقع مفصول طبيعياً عن منطقة التنقير الشكل (1) يوضح آلية تآكل الحديد- التنقير يظهر في المناطق الآنودية Anode (المصعدية) حيث يتأكسد المعدن إلى أيونات الحديد(II) والصدأ -Rust يظهر عند المنطقة الكاثودية Cathode (منطقة المهبط). لا يتشكل الصدأ بالتفاعل المباشر بين الأكسجين (O_2) والحديد(Fe_2)، لكنه يتشكل بعملية كهروكيميائية ، يتأكسد فيها الحديد في منطقة من السطح، وبوجود الأكسجين في منطقة أخرى منه.

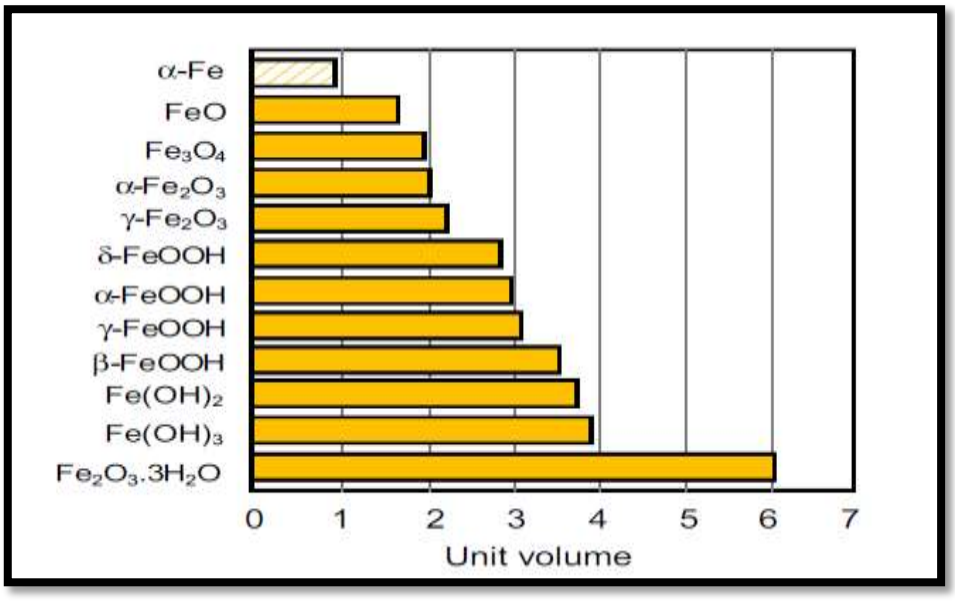


شكل (1) تآكل الحديد- التنقير يظهر في المناطق الآنودية Anode (المصعدية) حيث يتأكسد المعدن إلى أيونات الحديد(II) والصدأ -Rust يظهر عند المنطقة الكاثودية Cathode (منطقة المهبط) [4]

يتكون الصدأ بوجه عام نتيجة تعرض الحديد للهواء والماء حيث يبدأ صدأ حديد التسليح في السيخ ثم يزداد هذه النقر (Pit Formation) في التكون من نقرة صغيره ويحدث اتحاد بينها مما يكون الصدأ العام. والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية تحوي رطوبة ولذلك من الطبيعي حدوث صدأ للحديد بداخلها، ومن الأسباب غير المباشرة لتكون الصدأ البكتيريا الموجودة بالتربة، والتي تقوم بتحويل الأملاح والأحماض إلى حمض الكبريتيك الذي يهاجم الحديد ويسبب عملية الصدأ حيث تتآكل الخرسانة نتيجة للتفاعل الكيميائي الذي يحدث بين الكبريت الذائب مع الأسمنت مما يؤدي إلى ضعف متانتها وبالتالي إلى تصدعها وتفتت أجزائها.

من المعلوم ان قلوية الخرسانة تعمل على تشكل طبقة حول حديد التسليح تقوم بحماية الحديد من الصدأ وذلك بتكون طبقة قلوية كثيفة تمنع حدوث الصدأ تُدعى **طبقة الحماية السلبية** [5,4,3,2,1] التي تحول دون وصول أملاح الكلوريد والأملاح الضارة من الخرسانة الى حديد التسليح، ويحدث الصدأ نتيجة تكسير طبقة الحماية السلبية بسبب دخول الأملاح الى جسم الخرسانة عن طريق عوامل خارجية عديدة.

ينمو الصدأ -Rust ويتزايد حول قضبان فولاذ التسليح منتجاً تشققات بامتداد طولها بسبب القوى الناجمة عن تزايد حجم نواتج الصدأ التي قد تبلغ ستة أضعاف الحجم الأصلي للحديد [5,1] وهذا ما يظهره الشكل (2). ويؤدي ذلك إلى سقوط الخرسانة كاشفة حديد قضبان التسليح وتساعد أملاح كلوريدات الكالسيوم الموجودة في الخرسانة (إن وُجِدتْ) على ظهور هذا العيب كما تساعد على ذلك الرطوبة المُشبَّعة بالأملاح في المناطق الساحلية التي تحمل أملاح الكلوريدات، وبالتالي فإن خطورة تآكل فولاذ التسليح تصبح كبيرة في هذه الحالة. إن التشققات الناجمة عن تآكل فولاذ التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة خطيرة على عمر المنشأت وتحملها حيث تقلل مساحة مقاطع فولاذ التسليح في القطاع الخرساني، وهذه الظاهرة خطيرة بصفة خاصة في **الخرسانة مسبقة الإجهاد.**



الشكل (2) حجوم منتجات التآكل بالنسبة للحديد [1]

أثبتت كافة الأبحاث التي تناولت موضوع صدأ فولاذ التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة [5,4,3,2,1] ان قلوية الخرسانة تعمل على وضع طبقة حول حديد التسليح تقوم بحماية الحديد من الصدأ وذلك بتكوين طبقة قلوية كثيفة تمنع حدوث الصدأ (طبقة الحماية السلبية)، ويحدث الصدأ نتيجة تكسر طبقة الحماية السلبية عمليا وهناك عدة عوامل تؤدي الى كسر هذه الطبقة تتمثل في **الكربنة** ومهاجمة **الكلوريدات** للخرسانة:

1- الكربنة – Carbonation : تحدث نتيجة تفاعل كيميائي بين غاز ثاني أوكسيد الكربون co_2 الذي يخترق سطح الخرسانة من الجو المحيط مع القلويات الموجودة في الخرسانة، حيث يتكون حمض الكربون H2CO3الناتج عن ذوبان CO2في الرطوبة الموجودة في فراغات الخرسانة، والذي بدوره يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم أحد مركبات الاسمنت وينتج عن التفاعل كربونات الكالسيوم.

2- مهاجمة الكلوريدات للخرسانة من التربة المحيطة بالخرسانة أو من المواد المستخدمة بالخلطة الخرسانية أو عدم استخدام المياه المناسبة للخلط. إن دخول الأملاح الأخرى إلى مسامات الخرسانة وتبلورها بداخلها يتسبب في تفكك الأجزاء الخارجية للخرسانة تدريجيا وتظهر هذه المشكلة في الخرسانة الموجودة بالقرب من المياه المالحة والرمال المشبعة بالأملاح، وتتفاوت درجة تأثير تلك العوامل على الخرسانة بتفاوت **نفاذية الخرسانة** حيث كلما زادت النفاذية زاد تأثير العوامل المذكورة أعلاه.

بعض الكودات منها الكود الأوربي [6] حددت درجات تأثير البيئات المختلفة المحيطة بالمنشأ حيث حُدِد نوع التدهور وصُنّفتْ درجات التعرض مع توضيح للبيئة المحيطة بالمنشأة وأمثله للعناصر الخرسانية المسلحة كما هو مُدون في الجدول (1) الذي يوضح درجات تأثير البيئات المختلفة المحيطة بالمنشأ.

جدول (1) درجات تأثير البيئات المختلفة المحيطة بالمنشأ [6]			
نوع التدهور	درجة التعرض	توضيح للبيئة المحيطة بالمنشأة	مثال
لا يوجد احتمال للصدأ	XO	لا يوجد تأثير على الخرسانة	خرسانة داخل المبنى ونسبة الرطوبة النسبية قليلة جداً
صدأ بسبب: –الكربنة	XC1	جاف	خرسانة داخل المبنى مع رطوبة نسبية قليلة
	XC2	مبلل ونادراً جاف	جزء من حائط ساند للمياه أو بعض الأساسات
	XC3	رطوبة نسبية متوسطة	خرسانة داخل المبنى مع رطوبة نسبية متوسطة أو خرسانة خارجية محمية من مياه المطر
	XC4	دورات بلل وجفاف	معرض للمياه وليس مثل XC2
صدأ بسبب: –الكلوريدات من مياه البحر	XS1	معرض لهواء محمل بالأملاح ولكنه ليس متصل مباشرة بمياه البحر	المباني القريبة أو على الساحل
	XS2	مغمور	جزء من منشأة بحرية
	XS3	منطقة Splash Zone	جزء من منشأة بحرية
صدأ بسبب: –الكلوريدات	XD1	رطوبة نسبية متوسطة	سطح خرسانة معرض لرزاز يحتوي على كلوريدات
	XD2	مبلل ونادراً جاف	حمامات سباحة أو خرسانة معرضة لمياه من المخلفات الصناعية وتحتوي على كلوريدات
	XD3	دورات جفاف وبلل	جزء من جسر
– التجمد والإذابة	XF1		الأسطح الرئيسة والمعرضة للمطر
	XF2		الأسطح الرئيسة في الطرق
	XF3		الأسطح الأفقية المعرضة للمياه المتجمدة
	XF4		الطرق أو أسطح الجسور أو الأسطح الرئيسة المعرضة مباشرة لإذابة الجليد .
–مهاجمة الكيماويات	XA1	تعرض بسيط لمهاجمة الكلوريدات.	–
	XA2	تعرض متوسط لمهاجمة الكلوريدات.	–
	XA3	تعرض شديد لمهاجمة الكلوريدات.	–

تُستخدمْ كجزء من استراتيجيات متعددة **لنظام حماية التآكل** إضافات كيميائية تُدعى مثبطات التآكل Corrosion inhibitors [7] وهي مواد واعدة لتأخير ظهور تآكل الحديد في الخرسانة المسلحة.

بالتعريف مثبطات التآكل هي إضافات كيميائية تُضاف إلى خرسانة الاسمنت البورتلاندي أثناء الخلط، وعادة تُضاف بتراكيز ضعيفة جداً. مثبطات التآكل قابلة للتطبيق كمقياس حماية التآكل للمتانة والديمومة على المدى الطويل على حد سواء لكل من منشآت الجسور الخرسانية سابقة الإجهاد والخرسانة التقليدية. وغالبا ما تستخدم المُثبطات في تركيبة مع الخرسانة منخفضة النفاذية وعادة ما يكون لها أثر في زيادة تركيز محتوى الكلوريدات اللازمة لتحفيز التآكل. قد تُقلل

المُثبطات أيضا من مُعدل التآكل لاحقا بعد تحفيز التآكل، الأمر الذي يؤدي في نهاية المطاف إلى تدهور أقل في الخرسانة ناجم عن التآكل.

تُصنف مُثبطات التآكل إلى مواد غير عضوية أو عضوية، وبصفة عامة، تُصنف على أساس آلية الحماية فإنها يمكن أن تؤثر على الحماية بواسطة تفاعلات أنودية، أو تفاعلات كاثودية، أو كلاهما (مختلط). نوع نشط من مثبط (أنودي) يسهل تشكيل الأكسيد على سطح قضبان حديد التسليح [7] وهناك العديد من الأبحاث التي تناولت دور المثبطات في إبطاء أو من حدوث ظاهرة الصدأ.

معدل الصدأ يرتبط بعوامل كثيرة، **وتعتبر الرطوبة ودرجة الحرارة** عوامل رئيسيه ومؤثرة بدرجة كبيره جدا في معدلات الصدأ، ولذلك يجب التحكم في تلك العوامل للحيلولة دون الوصول الى مشكلة فنية واقتصادية على المنشأة الخرسانية، ولحماية المنشأة الخرسانية المسلحة من التآكل (الوقاية خير من العلاج) وإذا تم الحفاظ على المنشاة الخرسانية من التعرض للصدأ يكون ذلك أكثر واقعية وحفاظا على الثروة الوطنية.

يتم تفادي صدأ حديد التسليح في **الخرسانة بالتقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ وبإتباع الكودات** الخاصة بتصميم القطاعات الخرسانية والتي تعمل على تقليل احتمالات حدوث الصدأ في حديد التسليح، ومن العوامل المهمة في حماية المباني الخرسانية من صدأ حديد التسليح **نوعية وجودة الخرسانة** المستخدمة **وتحديد محتوى الإسمنت** وضبط مقدار W/C بالإضافة إلى ضرورة الاهتمام بمعالجة الخرسانة أثناء التنفيذ كالرج والدمك والقالب الجيد [10,9,8,7,6].

1-الدراسة المرجعية:

أجريت أبحاث كثيرة في مراكز أبحاث عالمية لعقود متعددة تناولت ظاهرة صدأ الحديد مسبباتها والعوامل المنشّطة لهذه الظاهرة وآثارها [5,4,3,2,1] وفي مخابر كلية الهندسة المدنية أُجريتْ العديد من الأبحاث والدراسات منها:

- أجرى الباحث (زيزفون 2011) [3] دراسة تأثير الصدأ في القضبان الفولاذية ضمن الخرسانة مع وبدون طلاء حماية من خلال إجراء تجارب التآكل المسرع على العينات ، ذات القضبان الفولاذية المطلية وغير المطلية بمادة الإيبوكسي ، وإجراء اختبار الشد المباشر على العينات السليمة ، والمعرضة للتآكل المسرع كلها ، ودراسة كل من المتغيرات (مقاومة الخرسانة – حماية القضبان الفولاذية بمادة الإيبوكسي) وتأثيرها في زمن بدء التآكل وفي إجهاد التماسك بين الخرسانة والفولاذ، وأظهرت نتائج هذه التجارب الارتباط الوثيق بين جودة البيتون والزمن اللازم لبدء التآكل، والدور الإيجابي لطلاء فولاذ التسليح بالإيبوكسي من خلال تأخيره الكبير لزمن بدء التآكل وإضعافه النسبي لإجهاد التماسك.

- أجرت الباحثة (آل الفضل 2011) [5] دراسة تأثير الصدأ على إجهاد التماسك لفولاذ التسليح في المنشآت البيتونية في الساحل السوري عن طريق إجراء اختبار التماسك من خلال إجراء تجربة الشد المباشر على عينات تعرضت لتسريع الصدأ مخبرياً عن طريق تغلغل الكلوريدات فيها. تمت دراسة كل من المتغيرات (مقاومة الخرسانة –أقطار وأشكال قضبان التسليح – عملية تطويق القضبان) في العينات الصحيحة والمخربة.

أجرى الباحث ميا- [11] دراسة حقلية لتقدير عمق الكربنة في ركائز عدد من الجسور الواقعة بين محافظتي طرطوس وحمص، وتبين من خلال هذه الدراسة أن ركائز تلك الجسور تُعاني من معدل عالٍ لتكربن البيتون حيث كانت القيمة الوسطية لثابت نفاذية البيتون تساوي (5.461mm/year0.5)بالإضافة لوجود نقص واضح في سماكة طبقة التغطية البيتونية لفولاذ التسليح وما قد ينتج عن ذلك من تشققات وانسلاخات في البيتون أو فقدان السلامة الإنشائية للمنشأ على المدى الطويل.

– خلُصَ البحث [12] إلى أن معدل التآكل يختلف في الاوساط المائية باختلاف درجة العدوانية للوسط والتي تزيد بزيادة نسبة الاملاح ودرجة تركيزها في الوسط المحيط بالمعدن وكذلك بزيادة درجة حرارة الوسط وسرعة حركة المنشأة المغمورة وتلك البعيدة عن الشاطئ لا يمكن التحكم بها لذا تؤدي الى حدوث تلوث البيئة وتضرر بالحياة الاقتصادية ان التآكل بماء البحر هو أسرع مما هو عليه في الماء العذب او ماء المطر.

مما لا شك فيه أن مشكلة تصدع المنشآت الخرسانية قد أصبحت من المشاكل الملحة التي يجب أن تتكاتف الجهود للوصول لحلها ومن أهم أسباب هذه المشكلة عدم وجود الوعي الكافي لدى جمهور المهندسين بأسباب تصدع حتى يمكن تلافيها بطرق العلاج. وطريقة تناول المهندس أو الاستشاري الإنشائي لمشكلة تصدع المنشآت الخرسانية وكيفية إصلاحها يجب أن تتماثل طريقة تناول الطبيب لمشكلة المرض وكيفية علاجه، فالطريقتان تشملان التنقيب عن الأسباب بالسؤال والفحص ثم التشخيص السليم وبالتحليل والدراسة فوصف العلاج الناجح بالعلاج أو الجراحة مع الحرص على الوقاية لمنع المرض من الحدوث أصلا فالوقاية خير من العلاج. ولكي يتناول المهندس مشكلة تصدع المنشآت هذا التناول فلابد له من معرفة الأشكال المختلفة للتصدع (الأعراض) و(الأسباب)، ولابد للمهندس كذلك من التعرف على وسائل التشخيص من فحص وكشف عن العيوب وإجراء التجارب والتحاليل اللازمة ثم عمل دراسة وتحليل الأعراض، ولابد له من معرفة طرق العلاج المختلفة ومتى يُستخدم كل منها.

تآكل حديد التسليح هو سبب شائع للتدهور في الخرسانة المسلحة. وقد درس العديد من الباحثين آلية التآكل المرتبطة بها والسلوك الهيكلي المترتب على أعضاء الخرسانة المسلحة المتدهورة. ومع ذلك، فإن المعرفة التي تم الحصول عليها تستند بشكل أساسي إلى التحقيقات التجريبية فتآكل العينات المخبرية التي أُجريت في الكثير من مراكز الأبحاث العالمية هو تآكل مصطنع **في حين أن التآكل الطبيعي في المنشآت الخرسانية القائمة قيد الاستثمار قد يؤثر على السلوك الهيكلي بشكل مختلف [4] هذا ما يؤكد على أهمية بحثنا. والهادف إلى تعميق وفهم الآثار الهيكلية لتدهور التآكل الطبيعي مع التركيز على قدرة قضبان التسليح المتبقية بين قضبان مشوهة والخرسانة، وكذلك التحقيق في الروابط المحتملة بين بيانات الفحص البصري والأضرار الهيكلية.**

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى رصد ظاهرة الصدأ وأسبابها وتأثير العوامل البيئية على ديمومة المنشآت الخرسانية المسلحة وإلقاء الضوء على آلية التحكم في هذه الظاهرة في بعض الكودات العالمية ومقارنتها مع معطيات الكود العربي السوري وإلى رصد واختبار وتحليل وتقييم هذه الظاهرة في العديد من المنشآت الخرسانية المسلحة في الساحل السوري.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا منهج تحليلي استقرائي في إجراء البحث حيث تم رصد ظاهرة صدأ فولاذ التسليح في العديد من المشاريع والمنشآت المنفذة من الخرسانة المسلحة في مدينتي اللاذقية وطرطوس من خلال تكليفي بتقديم الدراسات اللازمة لتقييم التصدعات في عناصرها الإنشائية وتقييمها وتقديم الحلول المناسبة، والمنفذة على فترات زمنية مختلفة، والتي تقع على مسافات متعددة من شاطئ البحر الأبيض المتوسط. وسيتم دراسة هذه الظاهرة وفق مرحلتين هما:

1- تناول معطيات الكودات ومواصفات التصميم لتفادي الصدأ.
2- رصد واختبار وتحليل وتقييم ظاهرة الصدأ في العديد من المنشآت الخرسانية المسلحة.

من خلال ما يلي:

1- معطيات الكودات ومواصفات التصميم لتفادي الصدأ:

المواصفات المتبعة في الكودات العالمية منها الأمريكي والأوروبي والمصري والسوري الخاصة بالشروط اللازم اتباعها لتحديد:

1- نسبة الكلوريدات المسموحة في الخرسانة.

2- سمك الغطاء الخرساني في العناصر الإنشائية.

3- أقصى عرض مسموح للتشققات في المنشآت الخرسانية.

لتفادي احتمالات حدوث ظاهرة صدأ حديد التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة نجد أن غالبية المواصفات والكودات العالمية قد حدّدت قيماً قُصوى مسموحٌ بها للكلوريدات في الخرسانة وفق التالي:

1-1- القيمة القصوى المسموح بها للكلوريدات في الخرسانة المسلحة وذلك لما لها تأثير ضار على فولاذ التسليح. ومصادر الكلوريدات في صناعة الخرسانة غالباً ما تكون من الإضافات أو من الركام (الزلط والرمل) الذي قد يحتوي عليها أوعن طرق المياه المستخدمة في الخلطة الخرسانية. وسنتنا ول في البحث الكودات التي اهتمت بهذا الموضوع منها الكود الأمريكي American Concrete Institute – ACI والكود الأوروبي والكود المصري والكود العربي السوري وفق ما يلي:

1-1-1- المواصفات الأمريكية ACI – [10,9,8] حددت مستوى الكلوريدات التي يجب ألا تتعداها الخرسانة المسلحة وفق الجدول (2) حيث أوضح الكود حدود مختلفة لمحتوى الكلوريدات في الخرسانة فيوجد حدود لمحتوى أيونات الكلوريدات الذائبة كما في* (ACI 318R-89) ACI Building Code أو حدود أيونات الكلوريد الكلية كما ذكرت في (****222,***357,**202) ACI Committee نتيجة مكونات الخرسانة أو نتيجة محتوى الكلوريدات الكلي نتيجة اختراق الكلوريدات للخرسانة أثناء عمر المنشأة.

ومن المواصفات الأمريكية ***357 ACI Committee أوصى بأن يكون الماء المستخدم في الخلطة الخرسانية يجب ألا يحتوي على كلوريدات أكثر من 0.07% في حالة الخرسانة المسلحة أو 0.04% في حالة الخرسانة سابقة الإجهاد.

جدول (2) : توصيات ومتطلبات أقصى محتوى لأيونات الكلوريد للحماية من الصدأ طبقاً للكود الأمريكي

نوع العضو الإنشائي	أقصى محتوى لأيونات الكلوريد (% من وزن الأسمنت)			
	المذاب *	الكلي**	المذاب***	الكلي****
الخرسانة سابقة الإجهاد.	0.06	–	0.06	0.08
خرسانة مسلحة معرضة للكلوريدات أثناء الاستثمار	0.15	0.10	0.10	0.20
خرسانة مسلحة ستكون جافة .	1.00		–	–
أعضاء ثابته أخرى .	0.30	0.15	–	–

1-1-2- تم تحديد حدود الكلوريدات في الكود البريطاني [13] وفق الجدول (3)، وتم المنع نهائياً لاستخدام أي إضافات بها كلوريدات أو استخدام كلوريدات الكالسيوم في الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد.

جدول (3) : المحتوى الأقصى للكلوريدات الذائبة اللازمة للوقاية من صدأ فولاذ التسليح	
الظروف حول الخرسانة	الحد الأقصى للكلوريدات في الخرسانة (% من وزن الاسمنت)
الخرسانة العادية	0.01
الخرسانة المسلحة	0.04
الخرسانة سابقة الإجهاد	0.02

1-1-3- الكود المصري [14] حدد محتوى أيونات الكلوريدات في الخرسانة بحيث لا يزيد التركيز الكلي لأيونات الكلوريدات الذاتية في الخرسانة المتصلدة في (والناتج من الماء والركام والاسمنت والإضافات عن عمر 28 يوم عن الحدود الواردة في الجدول (4).

جدول (4) : المحتوى الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة اللازمة للوقاية من صدأ فولاذ التسليح	
الظروف حول الخرسانة	الحد الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة في الماء في الخرسانة – كنسبة مئوية من وزن الاسمنت
– الخرسانة المسلحة المعرضة للكلوريدات.	0.15
– الخرسانة المسلحة الجافة والمحمية تماماً من الرطوبة في ظروف الاستخدام.	1.0
– العناصر الإنشائية الأخرى .	0.3

1-1-4- **الكود العربي السوري** [15] اشترط بأن لا تزيد أملاح الكلوريدات الذائبة فيه على/ 0.5 غرام في الليتر / وأملاح الكبريتات على/ 0.3 غرام في الليتر/ والأملاح الكلية على/ 2 غرام في الليتر/. وأورد الكود بأنه لا يُسمح باستعمال ماء البحر لخلط الخرسانة المسلحة، وإن كان يجوز استعماله عند الضرورة في الخرسانة العادية دون تسليح، مع زيادة كمية الاسمنت للوصول إلى الدرجة المطلوبة في مقاومة الخرسانة. وتُحدد كمية الزيادة بموجب تجارب نظامية خاصة بذلك. وفي كل الحالات يجب إجراء تجارب أولاً، وفي حال نجاحها يتم السماح باستعمال ماء البحر.

إضافة إلى تحديد القيمة القصوى المسموح بها للكلوريدات في الخرسانة المسلحة يُعتبر الغطاء الخرساني خط الدفاع الأول لحماية حديد التسليح في العناصر الإنشائية من الصدأ، ولذلك نرى بأن جميع الكودات والمواصفات الخاصة اهتمت بتقدير سماكة الغطاء الخرساني بدرجة كبيرة، حيث أن سمك الغطاء الخرساني يجب ألا يزيد عن حد معين طبقاً لطبيعة العضو الإنشائي وبينت غالبية الكودات بأن سمك الغطاء الخرساني يرتبط بـ:

1- طبيعة المنشأ 2- طريقة الإنشاء

3- درجة جودة الخرسانة 4- العوامل الجوية المحيطة بالمنشأ

ونجد أن الكودات قد تمايزت عن بعضها البعض بتناول موضوع سمك الغطاء الخرساني ومواصفاته.

1-2- سمك الغطاء الخرساني ومواصفاته وفق معطيات بعض الكودات العالمية (البريطاني والأمريكي والمصري والسوري) وفق التالي:

3-**1-2-1- الكود البريطاني [13] أوضح** مواصفات وسماكة الغطاء الخرساني والتي تعتمد على العوامل الجوية التي يتعرض لها المنشأ الخرساني وكذلك على مقاومة الخرسانة وجودتها وطبقاً لمحتوى الاسمنت ونسبة الماء إلى الاسمنت (W/C) في الخرسانة والمبينة بالجدول (6).

جدول (6): تحديد خواص وسمك الغطاء الخرساني طبقاً لما ورد بالكود البريطاني BS 8110 [13]					
درجة جودة الخرسانة (MPa)	30	35	40	45	50
أقصى نسبة ماء إلى الأسمنت (W/C)	0.65	0.65	0.55	0.50	0.45
أقل محتوى اسمنت (كجم /م3)	275	300	325	350	400
الظروف البيئية:	سمك الغطاء الخرساني (ملم)				
1- متوسط : أسطح خرسانة محمية من الجو الخارجي أو الظروف القاسية.	25	20	20	20	20
2- متوسط: أسطح خرسانة محمية من المطر أو التجمد والخرسانة دائماً تحت المياه أو الخرسانة الملاصقة بتربة غير مؤثرة.	-	35	30	25	20
3- قاس : أسطح خرسانة معرضة للمطر ومعرضة للجفاف والبلل.	-	-	40	30	25
4- قاس جداً : الخرسانة معرضة لرزاز مياه البحر أو الإذابة للثلج بالملح أو معرضة لظروف قاسية للتجمد أثناء البلل.	-	-	50	40	30
5- أقصى حالة : تعرض أسطح الخرسانة للبري مثل مياه البحر التي تحمل مواد صلبة أو مياه متحركة بها Ph =4.5 أو ماكينات أو عربات.	-	-	-	60	50

1-2-2- الكود الأمريكي ACI [8] لا يعطي **المواصفات** والتفاصيل الدقيقة التي يعطيها الكود البريطاني ولكنه حدد أدنى سماكة للغطاء الخرساني في حالة صب الخرسانة في الموقع كما في الجدول (7).

جدول (7) أدنى سماكة للغطاء الخرساني في حالة صب الخرسانة في الموقع طبقاً للكود ACI Committe301	
نوع المنشأ	أقل سمك للغطاء الخرساني / mm /
المنشأ تحت سطح الأرض	75
عندما يكون السطح معرض أو تحت الأرض: 1- قضيب الحديد رقم 6 أو أكثر	50
2- قضيب الحديد رقم 5 أو أقل	38
الجوائز والأعمدة	38
البلاطات والجدران مع قضبان بمقاس رقم 11 أو أقل	19
البلاطات والجدران مع قضبان بمقاس رقم 14 ، 18	38

1-2-3- الكود الأوروبي [16] يُعطي توصيات دقيقة ومفصلة وكذلك حدد درجة جودة الخرسانة من حيث المقاومة المميزة لها المطلوبة حسب الظروف الجوية التي يتعرض لها المنشأ وحدد ENV-206 1992 نسبة W/C وكذلك أقل

محتوى للإسمنت في الخرسانة وأقل سمك للغطاء الخرساني المناظرين لكل مقاومة للخرسانة حسب الظروف الجوية وذلك وفق الجدول (8) وتتم تلك الاختبارات طبقاً للعوامل الجوية التي يتعرض لها المنشأ ولقد حدد الكود المواصفات للخرسانة المسلحة العادية والخرسانة المسلحة سابقة الإجهاد.

جدول (8) الخرسانة المطلوبة للتحمل مع الزمن وفقاً للكود الأوروبي ENV-206 1992

درجة التعرض		أقل نسبة لـ W/C في الخرسانة		أقل محتوى للإسمنت (كغ/م3) في الخرسانة		أقل سمك للغطاء الخرساني		درجة الخرسانة MPa
		مسلحة	سابقة الإجهاد	مسلحة	سابقة الإجهاد	مسلحة	سابقة الإجهاد	
1- جاف		0.65	0.60	260	300	15	25	C30
2-رطوبة:	غير مجمدة	0.60	0.60	280	300	20	30	C30
	مجمدة	0.55	0.55	280	300	25	35	C35
3-إذابة الجليد :	بالملح	0.50	0.50	300	300	40	50	C35
4-مياه البحر:	غير مجمد	0.55	0.55	300	300	40	50	C35
	مجمدة	0.50	0.50	300	300	40	50	C35
5-كيماويات ضارة :	خفيف	0.55	0.55	280	300	25	35	
	متوسط	0.50	0.50	300	300	30	40	
	عالي	0.45	0.45	300	300	40	50	

1-2-4- الكود المصري [14] حدد سمك الغطاء الخرساني المطلوب طبقاً للظروف البيئية المحيطة بالمنشأ وبتحديد مقاومة الخرسانة على الضغط ونوع العنصر الإنشائي يمكن تحديد سمك الغطاء الخرساني وفق ما ورد في الجدول (9) الذي أوضح **الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرساني** في العناصر الإنشائية مع تحديد قيم الإجهاد المكعبية للخرسانة.

الجدول (9) الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرساني

نوع العناصر التي تحدد درجة تعرض سطح الشد للعوامل البيئية	سمك الغطاء الخرساني (سم)			
	عام لجميع العناصر عدا البلاطات		للجدران والبلاطات المصمته	
	Fcu≤250kg/cm2	Fcu>250	Fcu≤250	Fcu>250
ذات أسطح محمية	2.00	1.50	150	1.00
ذات أسطح الشد فيها غير محمية	2.50	2.00	2.00	1.50
ذات أسطح الشد فيها معرضة لعوامل ضارة	3.00	2.50	2.50	2.00
ذات أسطح الشد فيها معرضة لعوامل ذات تأثيرات مؤكسدة وضارة تسبب صدأ الصلب	4.00	3.50	3.50	3.00

كما اشترط الكود المصري أنه في كافة الأحوال يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني عن قطر أكبر قضيب تسليح مستخدم في التسليح.

1-2-5- الكود السوري [15] في الفقرة 11-9 حدد الغطاء الخرساني للتسليح ما يلي:

- يجب أن يكون الغطاء الخرساني لقضبان التسليح كافياً ليسمح بمرور الخرسانة، ولتوفير الحماية اللازمة للتسليح ضد عوامل التآكل، والسمك الأدنى للغطاء الخرساني للمنشآت الداخلية التي لا تتعرض مباشرة لتأثيرات جوية، أو الخارجية المحمية من هذه التأثيرات بالإكساء، هو 15mmللبلاطات والجدران، و 25mmللجوائز والأعمدة.
- أما بالنسبة للمنشآت الخارجية المعرّضة مباشرة لتأثيرات جوية، فيجب ألا يقل الغطاء الخرساني عن 20mm للبلاطات والجدران، و 30 mmللجوائز والأعمدة، على أن تُزاد هذه الأرقام إلى 30mm، 40 mmعلى التوالي، إذا كان الجو الخارجي حاوياً على رطوبة ملحية.
- يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني لأعمال الخرسانة المعرّضة للتماس مع التربة بشكل مستمر عن 50 mm، ولا داعي لاستعمال الشبكة في هذا الغطاء الخرساني الملامس للتربة .
- يُحدد سمك الغطاء الخرساني المناسب للمنشآت المعرضة لتأثير العوامل الكيميائية حسب كل حالة، وعلى ألا يقل هذا السمك عن 50 mm، وفي حالة العناصر المعرضة باستمرار لتربة تحتوي على مواد كبريتية ، يجب استعمال الاسمنت المقاوم للكبريتات.
- إذا زاد سمك الغطاء الخرساني على 40 mmفي السطوح المكشوفة وغير المطمورة، يجب استعمال تسليح شبكي خفيف لحمايته من التشقق ولا يدخل في الحسابات الستاتيكية.
- في جميع الأحوال، يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني، عن الحدّ المناسب لمتطلبات الحماية من الحريق وفق ما جاء في الجدول (10).

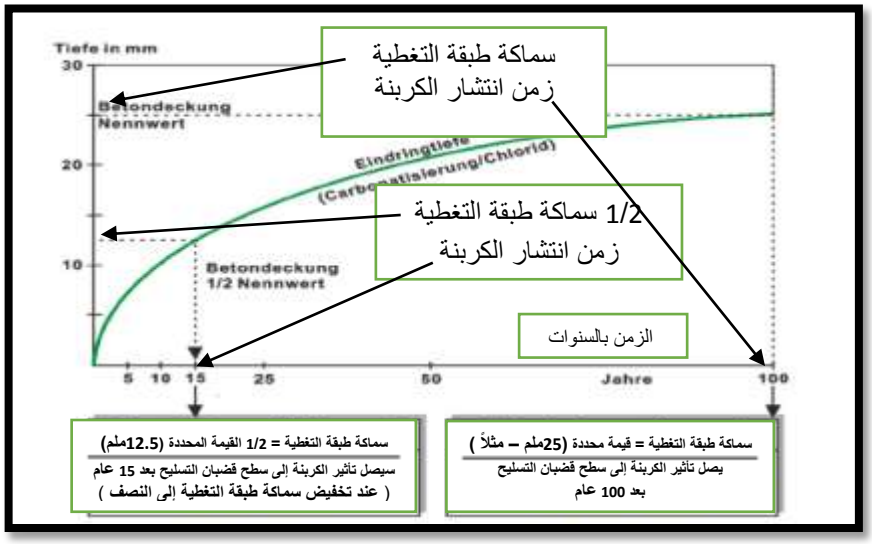
ولا يقُل سمك الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح الرئيسي عن 25mmلمقاومة فترة 4 ساعات وعن 15mmلمقاومات لفترات تقل عن 4 ساعات عن تحديد السمك الأدنى للجدران والأسقف الخرسانية المسلحة لمقاومة الحريق.

الجدول (10) سمك الغطاء الخرسانية الدنيا لفولاذ التسليح في الجوائز

وصف الخرسانة	سمك الغطاء الخرساني الأدنى بالمليمتر الذي يُحقق مقاومة للحريق لفترة قدرها بالساعة (h)			
	0.5h	1h	2h	4h
خرسانة دون حماية إضافية .	15	25	50	65
خرسانة مع طبقة حماية اسمنتية أو جصية بسمك 15mm على شبك تسليح خفيف .	15	15	40	50
خرسانة مع طبقة حماية من الاسبستوس سمكها 15mm	15	15	15	25

ونرى من مناقشة النتائج المدونة في الجداول أعلاه بأن الكود البريطاني والكود المصري قد ربط قيمة سماكة طبقة التغطية البيتونية بدرجة جودة الخرسانة المسلحة هذا ما أغفله الكود العربي السوري.

وقد أثبتت الدراسة – [17] بأن تقليل سماكة طبقة التغطية لفولاذ التسليح في العناصر الإنشائية إلى نصف القيمة المطلوبة سبب في الإسراع انتشار ثاني أوكسيد الكربون في الخرسانة حتى يصل إلى قضبان التسليح من (100 سنة) إلى 15 سنة كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) تأثير سمك طبقة التغطية الخرسانية على الفترة حتى يتآكل حديد التسليح

ولقد تناول الـ ACI Committee 357توصيات لتحديد جودة الخرسانة وسمك طبقة الغطاء الخرساني للمنشآت البحرية المعرضة مباشرة لمياه البحر مثل أرصفة الموانئ أو المنصات البحرية الخرسانية المستخدمة في صناعة البترول كما هو في الجدول (11).

جدول (11) : توصيات ACI Committee 357 لتحديد جودة الخرسانة وسمك طبقة الغطاء الخرساني في المنشآت البحرية

المنطقة	أقصى قيمة لـ: W/C	أقل مقاومة للكسر بعد 28 يوم Mpa	سمك الغطاء الخرساني (mm)	
			حديد التسليح	حديد مسبق الإجهاد
الهواء الجوي	0.40	35	50	75
Splash Zone	0.40	35	65	90
منطقة الغمر بالمياه	0.45	35	50	75

ونجد في الجدول (12) مقارنة بين معطيات الكودات المختلفة لتصميم الخرسانة في المنطقة المعرضة لرذاذ مياه البحر Splash Zone كالأعمدة الحاملة لمنصات استخراج البترول من البحر.

الجدول (12) المقارنة بين الكودات المختلفة لتصميم الخرسانة في المنطقة المعرضة لـ Splash Zone				
الكود	سمك الغطاء الخرساني (mm)	أقصى عرض للتشققات (mm)	أقصي قيمة لـ: W/C	أقل محتوى للإسمنت كغ/م3
DNV	50	-	0.45	400
FIP	75	0.004 X سمك / أو 0.3	0.45	400
BS-6235	75	0.004 X سمك / أو 0.3	0.40	400
ACI	65	0.15	0.40	360

1-3- أقصى عرض للتشققات في المنشآت الخرسانية:

يُلاحظ أن عرض التشققات في الغطاء الخرساني له تأثير مباشر على عملية صدأ حديد التسليح حيث وجود الشق وعرضه يساعدان على انتشار ثاني أوكسيد الكربون أو أيونات الكلوريد داخل الخرسانة مما يُساعد على بداية الصدأ كما يُساعد على دخول الأوكسجين مما يُعجل من عملية الصدأ، ولذلك فإن المواصفات الأمريكية ACI Committee 224 [7]حددت أقصى عرض للشقوق المسموح بها حسب الظروف البيئية التي يتعرض لها المنشأ حيث يتراوح أقصى عرض للتشققات من 0.1 حتى 0.4 ملم وفق الظروف البيئية المؤثرة كما في الجدول (13).

الجدول (13) العلاقة بين الظروف البيئية وأقصى عرض للشق المسموح به	
الظروف البيئية	أقصى عرض للتشققات (ملم)
هواء جاف أو سطح مغطى	0.40
رطوبة عالية وبخار مياه وتربة	0.30
مياه بحر أو رذاذ مياه بحر	0.15
جدران حاجزة للمياه باستثناء الأنابيب تحت عدم وجود ضغط	0.10

بينما حدد الكود العربي السوري [15] في الفقرة 10-4- حالة حد التشقق المعيب (... تحدث في عناصر الخرسانة المسلحة المعرضة لإجهادات شدّ، شقوق تحت تأثير أحمال الاستثمار، وحتى لا يكون لهذه الشقوق أثر ضارّ على مدى تحمّل الخرسانة أو على صدأ فولاذ التسليح، ولا يجوز أن يزيد اتساعها عن حدّ معين يُسمّى حد التشقق، ويتوقف هذا الحد على نوع المبنى والغرض من إنشائه، ومدى تأثره من الجو المحيط به) وتُقسم المنشآت حسب حد التشقق المسموح إلى ثلاثة أنواع:

النوع الأول: يشمل الإنشاءات المعرضة لعوامل ضارة شديدة التأثير على الخرسانة. في هذا النوع من المنشآت لا يجوز أن تزيد سعة الشقوق على 0.1mm، ويجب أن تحقق المقاطع بموجب ما ورد في البند (10-3-2-3). بالإضافة إلى ما ورد أعلاه.

النوع الثاني: يشمل الإنشاءات الموجودة في العراء، مثل الجسور والإنشاءات المعدنية والوحدات الخارجية التي يُمكن أن تتأثر بعوامل الرطوبة، أو وحدات المصانع الموجودة في جو رطب أو فيه كميات كبيرة من الأبخرة، ولا يجوز في هذا النوع من الإنشاءات أن تزيد سعة الشقوق على 0.15 mm .

النوع الثالث: يشمل الوحدات المحمية من الإنشاءات العادية، والتي لا تؤثر فيها سعة الشقوق المحدّدة على مدى تحمل الخرسانة أو على فولاذ التسليح، ولا يجوز في هذا النوع من المنشآت أن تزيد سعة الشقوق على 0.3mm.

هذا وقد حدد الكود العربي السوري [15]في الفقرة 10-4-3 وسائل تلافي الوصول إلى حد التشقق وذلك باستعمال خرسانة كثيفة ما أمكن وأن يكون الغطاء الخرساني لفولاذ التسليح كافياً ...الخ وألا يزيد قطر قضبان التسليح عما تُعطيه القيمة الأكبر من العلاقتين الواردتين في الفقرة 10-4-3-3.

وقد حدد الكود الأوروبي [6] العوامل الجوية التي يتعرض لها المنشآت وفق الجدول (14) وهي تمثل الطريقة المثلى لتصميم المباني الخرسانية لتحقيق عمر أطول لها.

الجدول (14) : حدود مكونات الخلطة الخرسانية طبقاً للكود الأوروبي 1997 [16]

نوع التدهور	* درجة التعرض	أقصى نسبة W/C	مقاومة الضغط المميزة	أقل محتوى للإسمنت كج/ م3
لا يوجد خطورة من الصدأ	XO	-	C12	-
صدأ بسبب الكربنة	XC1	0.65	C20	260
	XC2	0.60	C25	280
	XC3	0.55	C30	280
	XC4	0.50	C30	300
صدأ بسبب كلوريدات مياه البحر	XS1	0.50	C30	300
	XS2	0.45	C35	320
	XS3	0.45	C35	340
صدأ بسبب كلوريدات غير مياه البحر	XD1	0.55	C35	300
	XD2	0.55	C35	300
	XD3	0.45	C35	320
صدأ بسبب مواد كيميائية ضارة محيطة	XA1	0.55	C30	300
	XA2	0.50	C30	320
	XA3	0.45	C35	360

*- درجات التضرر موضحة في الجدول (1).

2- رصد وتحليل وتقييم ظاهرة الصدأ في العديد من الحالات.

من أجل رصد ظاهرة الصدأ وأثرها في المنشآت الخرسانية المسلحة، ومعرفة أشكال العيوب التي تعاني منها قمنا بزيارات ميدانية إلى مواقع العديد من المشاريع القائمة في مدنيتي اللاذقية وطرطوس، تم من خلالها الكشف على المنشآت وتحديد أشكال العيوب والتصدعات، بالإضافة إلى معرفة أسبابها من خلال مجموعة من الاختبارات، وتحليل نتائجها بدقة، وتطرقنا في دراستنا إلى طرق معالجة هذه العيوب كما قمنا بوضع التوصيات العلمية اللازمة للإقلال أو منع هذه العيوب في المستقبل. والحالات المدروسة هي:

1- دراسة جدار استنادي في ميناء الصيد في مدينة جبلة موضحة بالجدول (15).

2- دراسة مبنى البحوث البحرية التابع لجامعة تشرين في الشاطئ الأزرق باللاذقية موضحة بالجدول (16).

3- دراسة خزان ماء عالي من الخرسانة المسلحة وبعض مباني شاليهات البسيط التابعة لمديرية الزراعة باللاذقية موضحة بالجدول (17).

4- دراسة مدخنة من الخرسانة المسلحة في مبنى المراجل في المؤسسة العامة للتبغ باللاذقية موضحة بالجدول (18).

5- دراسة بعض المنشآت الخرسانية المسلحة في معمل اسمنت طرطوس موضحة بالجدول (19).

وهناك العشرات من المباني والمنشآت الصناعية في مدينتي اللاذقية وطرطوس والتي دُعيت لتقديم الدراسة والحلول ولمعالجة ظاهرة الصدأ فيها منها (العديد من خزانات مياه الشرب في اللاذقية – مبنى مشفى جبلة – مبنى نادي ضباط طرطوس الجديد / جنوب مدينة طرطوس – رصيف الفوسفات في ميناء طرطوس – بعض مباني شركة كونسروة جبلة – تجمعات سكنية في مديني جبلة واللاذقية– ترميم سكة الروافع على رصيف كحالة في مرفأ اللاذقية) وهذه المنشآت تحتاج إلى المليارات لتدعيمها وترميمها وبعضها تم خروجه من الخدمة ويلزم إزالته هذا ما يؤكد أهمية بحثنا.

ومن الطرق العملية لتقييم المنشآت الخرسانية موضحة بالجدول (14) من هذه القياسات تم تحديد أسباب الصدأ ودرجة فقد الحماية السلبية لحديد التسليح وكذلك تقدير معدلات الصدأ في كل جزء من أجزاء المنشأة ومن ذلك سيتم تحديد نوع الإصلاح وطريقته والكمية المراد إصلاحها.

الجدول (14) الطرق العملية المتبعة لتقييم المنشآت الخرسانية المدروسة

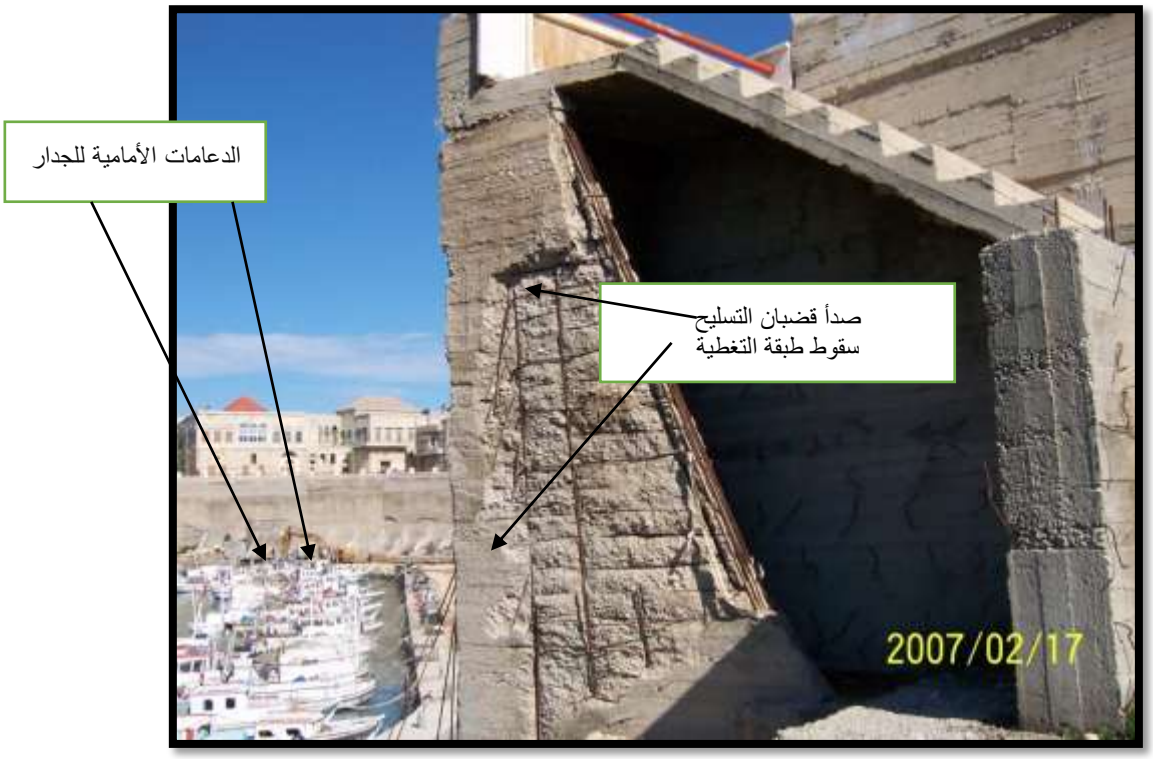
الطريقة	الهدف من الكشف	الاستخدام	ملاحظات
الفحص البصري	رصد عيوب الأسطح	عام	متوفر
المطرقة (مطرقة عادية)	فراغ خلف الأسطح (تطبيل)	عام	متوفر
مقياس الغطاء الخرساني	تحديد بُعد حديد التسليح عن سطح الخرسانة	جهاز كشف الحديد	متوفر
تحديد مقاومة الخرسانة:		متخصص/	
1- بالمطرقة المرتدة.	تحديد قيمة المقاومة المميزة للخرسانة	جهاز السكليرومتر	متوفر
2- بالأمواج فوق الصوتية.	تحديد قيمة المقاومة المميزة للخرسانة	جهاز الأمواج فوق الصوتية	متوفر
3- بنزع الجزرات البيتونية	تحديد قيمة المقاومة المميزة للخرسانة	جهاز نزع الجزرات	متوفر
فينول فيثالين	تحديد عمق الكربنة	عام	متوفر
محتوى الكلوريدات	صدأ نتيجة الكلوريدات	اختبارات كيميائية لتحديد محتوى الكلوريدات في الخرسانة	متوفر
النفاذية	تحديد معدل الانتشار	عام / متخصص	
طريقة فقدان الوزن Weight loss method	تحديد معدل الصدأ	عام	

لتقييم أي نوع من المنشآت لابد من التعرف على الأحمال الانشائية والتركيب الإنشائي ونوع المواد المستخدمة في تلك المنشآت للتعرف عن قرب على نوع العيوب والمشاكل التي تعاني منها وفي دراستنا نوجز التصدعات والعيوب على النحو التالي:

2-1- دراسة جدار استنادي في ميناء الصيد بمدينة جبلة موضحة نتائجها بالجدول رقم (15):

الجدول (15) يوضح نتائج دراسة الجدار الاستنادي والأضرار التي يعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة

الكتلة المدروسة	الجدار الاستنادي المنفذ من الخرسانة المسلحة بدعامات أمامية مواجهة للبحر ودعامات خلفية من جهة طريق (كورنيش جبلة) في ميناء الصيد في مدينة جبلة .
موقع الكتلة المدروسة	يقع الجدار على بضع أمتار من البحر في ميناء الصيد بمدينة جبلة .
الجملة الإنشائية للكتلة المدروسة	- جدار استنادي من الخرسانة المسلحة مكون من: - جسم الجدار ارتفاعه حوالي 11متر بسماكة ثابتة. - دعامات خلفية من جهة طريق الكورنيش على كامل ارتفاع الجدار. - ودعامات أمامية من جهة البحر بارتفاع حوالي 3متر فوق قاعدة الجدار.
العناصر المتضررة	- الخرسانة في الجزء العلوي من الجدار الاستنادي متضررة علماً بأن الجزء السفلي من الجدار المواجه للبحر غير متضرر لارتفاع حوالي 4متر وتبين من الرجوع إلى اضبارة المشروع أنه تم استخدام اسمنت مقاوم للكبريتات في هذا الجزء من الجدار. - الخرسانة في الدعامة الخلفية التي تقع في الجهة الجنوبية للجدار الموضحة بالصورة المرفقة
أشكال العيوب والتصدعات	تساقط طبقات التغطية البيتونية وصدأ فولاذ التسليح. تضرر بيتون الدعامة الخلفية للجدار، وصدأ قضبان التسليح تضرر بيتون سطح الجدار المواجه للبحر والذي يقع فوق الدعامات الأمامية
الاختبارات	- نزع جزرات من الجدار من مناسيب مختلفة مع اختبارها في مخابر كلية الهندسة المدنية للتحقق من درجة جودة الخرسانة. تبين أن درجة جودة الخرسانة هي C18. - تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية التي تبين أنها غير منتظمة - تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين - تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 10- 40%
درجة التضرر	تكشف وتآكل قضبان التسليح. سقوط طبقات التغطية في مواقع كثيرة في الجزء العلوي من الجدار.
المعالجة	- نزع طبقة الخرسانة المتصدعة. - نزع صدأ الحديد بالضرب بالرمل. - تعوض التسليح المتخرب بشبكة تسليح جديدة. - صب طبقة من الخرسانة بدرجة جودة C40وبإضافات مناسبة لأعمال الترميم والتدعيم. - تمت معالجة التضررات في الجدار وفق الدراسة المقدمة من قبلي منذ حوالي عشرة سنوات. - الكلفة الاقتصادية للمعالجة مرتفعة .



شكل (4) يوضح صورة تبين تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح في الجدار الاستنادي في ميناء جبلة

2-2- دراسة مبنى مركز البحوث البحرية التابع لجامعة تشرين في الشاطئ الأزرق باللاذقية موضحة نتائجها بالجدول رقم (16):

الجدول (16) يوضح دراسة مبنى معهد البحوث البحرية والأضرار التي يعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة	
الكتلة المدروسة	منبى مركز البحوث البحرية .
موقع الكتلة المدروسة	مجاور للبحر من الجهة الشمالية للمبنى على بضع أمتار من شاطئ البحر إلى الغرب من منتجع الشاطئ الأزرق.
الجملة الإنشائية للكتلة المدروسة	جدران حاملة من الخرسانة المسلحة .
العناصر المتضررة	تضرر الخرسانة في الجدران الحاملة وبعض الجوائز وتشققات وسقوط طبقات التغطية في مواقع كثيرة مع صدأ قضبان التسليح
أشكال العيوب والتصدعات	تساقط طبقات التغطية البيتونية وصدأ فولاذ التسليح .
الاختبارات	- تحديد جودة الخرسانة بواسطة جهاز المطرقة المرتدة للتحقق من درجة جودة الخرسانة. - تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية وهي غير منتظمة. - تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين - تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 10- 50%

درجة التضرر	– انسلاخ طبقة التغطية الخرسانية وتكشف وتأكل قضبان التسليح.
المعالجة المقترحة	– نزع طبقة الخرسانة المتصدعة – نزع صدأ الحديد بالضرب بالرمل. – تعوض التسليح المتخرب بشبكة تسليح جديدة – صب طبقة من الخرسانة بدرجة جودة C40وبإضافات مناسبة لأعمال الترميم التدعيم.

مدخل مبنى المعهد من الجهة الجنوبية للمبنى

تضررات في سقف وجدران الدرابزونات من الجهة الغربية للمبنى

تضررات في الجدار الحامل الذي يقع في الزاوية الجنوبية الغربية للمبنى

تضررات في عنصر تزييني متشكل من الخرسانة المسلحة

شكل (5) يوضح صور تبين تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح وتشققات في الجدران الحاملة في مبنى معهد البحوث البحرية

2-3- دراسة خزان ماء عالي من الخرسانة المسلحة وبعض مباني شاليهات البسيط التابعة لمديرية الزراعة باللاذقية موضحة بالجدولين رقم (17- 18) وفق:

2-3-1- دراسة خزان الماء العالي المنفذ من الخرسانة المسلحة موضحة نتائجها بالجدول (17):

الجدول (17) يوضح دراسة خزان الماء العالي والأضرار التي يعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة

الكتلة المدروسة / عمر الكتلة	خزان المياه / عمر الكتلة حوالي 28 سنة/ تم تنفيذ الخرسانة من رمل وبحص تم استدراجه من شاطئ البحر في البسيط.
موقع الكتلة المدروسة	يبعد موقع الخزان عن البحر من الغرب بحوالي 200 متر .
الجملة الإنشائية للكتلة المدروسة	حلّة الخزان ترتكز على أربعة أعمدة مربطة بجوائز وشيناجات ترتكز الأعمدة على قواعد مفردة الأعمدة والجوائز وحلة الخزان مكسية بطبقة من الطينة الاسمنتية مع رشة تيرولية .
العناصر المتضررة	الأعمدة والشيناجات والجوائز الرابطة.
الاختبارات	– تم تحديد مقاومة الخرسان المسلحة في الموقع بواسطة المطرقة المرتدة وبلغت في المواقع غير المتصدعة حوالي 20 MPa. – تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية . – تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين. – تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 40– 50%.
درجة التضرر	– انسلاخ طبقة التغطية الخرسانية وتكشف قضبان التسليح. – تشققات موازية لقضبان التسليح في الأعمدة والجوائز – إن الأعمدة الأربعة الحاملة لحلة الخزان متضررة. يجب إصلاح المنشأة بالسرعة القصوى بسبب تضرر الأعمدة الحاملة والتي تهدد بانهيارها المفاجئ .
المعالجة	– التدعيم المؤقت للحلة لنقل حمولاتها الذاتية إلى الأرض خوفاً من انهيارها المفاجئ. – نزع طبقة الخرسانة المتصدعة في الأجزاء المتصدعة. بحيث يتم – نزع صدأ الحديد بالضرب بالرمل. – تعوض التسليح المتخرب بشبكة تسليح جديدة. – تدعيم الأعمدة بقميص من الخرسانة المسلحة وذلك بصب طبقة من الخرسانة بدرجة جودة C40مع إضافات مناسبة لأعمال الترميم والتدعيم. تم تقديم الدراسة للجهة صاحبة المنشآة .

خزان المياه المدروس

تشققات موازية للتسليح في العمود من الجهة الجنوبية الغربية

تساقط طبقة التغطية في العمود من الجهة الشمالية الغربية	تساقط طبقة التغطية في العمود من الجهة الشمالية الشرقية
شكل (6) يوضح صور تبين تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح في الأعمدة الحاملة لحلة الخزان	

2-3-2 دراسة تصدع أسقف بعض مباني شاليهات المنفذة من الخرسانة المسلحة موضحة نتائجها بالجدول رقم (18):

الجدول (18) يوضح دراسة أسقف بعض مباني الشاليهات والأضرار التي يعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة .	
الكتلة المدروسة / عمر الكتلة	سقف بعض الشاليهات / عمر الكتلة حوالي 28 سنة / تم تنفيذ الخرسانة من رمل وبحص تم استدراجه من شاطئ البحر في البسيط .
موقع الكتلة المدروسة	يبعد البحر عن موقع الشاليهات من الغرب بحوالي 200 متر.
الجملة الإنشائية للكتلة المدروسة	حلة الخزان ترتكز على أربعة أعمدة مربطة بجوائز وشيناجات ترتكز الأعمدة على قواعد مفردة الأعمدة والجوائز وحلة الخزان مكسية بطبقة من الطينة الاسمنتية مع رشة تيرولية .
العناصر المتضررة	تضرر بيتون الدعامات الخلفية للجدار، وصدأ قضبان التسليح. تضرر بيتون سطح الجدار المواجه للبحر والذي يقع فوق الدعامات الأمامية .
درجة التضرر	تساقط طبقات التغطية البيتونية وصدأ فولاذ التسليح .
الاختبارات	- تم تحديد مقاومة الخرسان المسلحة في الموقع بواسطة المطرقة المرتدة وبلغت في المواقع غير المتصدعة حوالي 20 MPa. - تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية. - تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين. - تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 40- 50% .
الوصف	- انسلاخ طبقة التغطية الخرسانية وتكشف قضبان التسليح.
المعالجة	- إزالة السقف واستبداله.

آثار لرشح المياه وصدأ حديد التسليح وتشققات الخرسانة وتخرب بلوك الهوردي في سقف إحدى الشاليهات	آثار لرشح المياه وصدأ حديد التسليح وتشققات الخرسانة وتخرب بلوك الهوردي في سقف إحدى الشاليهات
آثار لرشح المياه وصدأ حديد التسليح وتشققات الخرسانة	آثار لرشح المياه وصدأ حديد التسليح وتشققات الخرسانة وتخرب بلوك الهوردي في سقف إحدى الشاليهات

شكل (7) يوضح صور تبين تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح في سقف بعض الشاليهات

2-4- دراسة مدخنة من الخرسانة المسلحة في مبنى المراجل في المؤسسة العامة للتبغ باللاذقية موضحة نتائجها بالجدول رقم (19):

الجدول (19) يوضح دراسة مدخنة مبنى المراجل والأضرار التي يعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة .

الكتلة المدروسة / عمر الكتلة	- مدخنة مبنى المراجل (المراجل في المبنى تعمل مدة 24 ساعة يومياً لا يُسمح بتوقيفها) - ارتفاع المدخنة 25 م (تم تحديده بالأجهزة المساحية)./ عمر الكتلة 40-45 عام
موقع الكتلة المدروسة	تقع المدخنة ضمن مباني الريجي في اللاذقية يبعد البحر عن موقع المدخنة من الجنوب بحوالي 5 كيلومتر

	تتعرض المدخنة للغازات المنطلقة من احتراق الوقود في المراجل .
الجملة الإنشائية للكتلة المدروسة	المدخنة انبوبية الشكل مقطعها مستطيل أبعاده من الخارج (160 x625 سم) منفذة من الخرسانة المسلحة سماكتها 20سم ومقطعها ثابت مع الارتفاع .
العناصر المتضررة	جدران المدخنة الخرسانية في قمة المدخنة تعاني من تشققات ومن تساقط طبقات التغطية في بعض المواقع.
درجة التضرر	– تساقط طبقات التغطية البيتونية وصدأ فولاذ التسليح من ارتفاع 6 متر حتى أعلى قمة المدخنة. – تشققات موازية لقضبان التسليح
الاختبارات	– نزع جزرات من جدار المخنة من مناسيب مختلفة من المدخنة مع اختبارها في مخابر كلية الهندسة المدنية للتحقق من درجة جودة الخرسانة. – تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية – تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين. – تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 40– 50%
الوصف	– انسلاخ طبقة التغطية الخرسانية وتكشف قضبان التسليح.
المعالجة	– نزع طبقة الخرسانة المتصدعة – نزع صدأ الحديد بالضرب بالرمل. – تعوض التسليح المتخرب بشبكة تسليح جديدة – صب طبقة من الخرسانة بدرجة جودة C40وبإضافات مناسبة لأعمال الترميم والتدعيم.

مدخنة مبنى المراجل

نساقط طبقة التغطية البيتونية وتكشف صدأ الحديد

الكتل المتساقطة من جسم المدخنة	الجزرات البيتونية المأخوذة من المدخنة والتي تم اختبارها في مخابر كلية الهندسة المدنية
شكل (8) يوضح صور تبين تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح في المدخنة	

2-5- دراسة بعض المنشآت الخرسانية المسلحة في معمل اسمنت طرطوس موضحة بالجدول رقم (20):

الجدول (20) يوضح دراسة بعض المنشآت الخرسانية المسلحة والأضرار التي تعاني منها والاختبارات التي تم إجراؤها مع التقييم والتحليل والمعالجة .	
الكتلة المدروسة / عمر الكتلة	المحطات التابعة لمعمل اسمنت طرطوس التي تمد المعمل بالمواد الأولية عن طريق القشاط الناقل من المناطق المجاورة للمعمل- العمر 45-50 سنة.
موقع الكتلة المدروسة	يبعد موقع المصنع عن البحر من الغرب حوالي 5 كيلومتر
الجملة الإنشائية	مباني هيكلية (أعمدة وجوائز وبلاطات) غير مكسية
العناصر المتضررة	تضرر أعمدة وجوائز وبلاطات وأدراج بيتونية في المحطات
درجة التضرر	تضرر بيتون غالبية الأعمدة وبعض الجوائز وأجزاء من بلاطات الأسقف وصدأ قضبان التسليح وتساقط طبقات التغطية البيتونية لدرجة تهدد المنشأة بالانهيار
الاختبارات	- تم تحديد مقاومة الخرسان المسلحة في الموقع بواسطة المطرقة المرتدة وبلغت في المواقع غير المتصدعة حوالي 20 MPa - تحديد سماكة طبقة التغطية الخرسانية - تحديد عمق التكربن بواسطة الفنول فتالين - تحديد معدل الصدأ حيث بلغ مقدار أكثر من 10- 40%
الوصف	- انسلاخ طبقة بيتون التغطية وتكشف قضبان التسليح وتصدع بعض الجيزان. - صدأ فولاذ التسليح الطولي والعرضي لبعض الأعمدة - تضررات موضعية لبعض الأعمدة نتيجة الصدم الميكانيكي. - تعشيش وتبحيص موضعي لبعض الأعمدة (عيوب تنفيذية).
المعالجة	إزالة البيتون المتصدع وضرب الحديد بالرمل لإزالة الصدأ وتقوية مقطع العمود بقميص من البيتون المسلح

صدأ حديد التسليح وتساقط طبقة التغطية البيتونية	آلية تدعيم أحد الأعمدة المتصدعة المقترحة
صدأ حديد التسليح عند استناد الجائز على العمود عمود قصير	تضرر عمود في كسارة الكلس ،صدأ حديد التسليح ، وتساقط طبقة التغطية البيتونية

شكل (9) يوضح تسلخ طبقة التغطية وتكشف قضبان فولاذ التسليح في معهد البحوث البحرية

نجد مما سبق بأن أغلب الكودات قد صنفت مناطق التعرض لأملاح ولمياه البحر ولرذاذ مياه البحر Splash Zone وللرطوبة المشبعة بالأملاح ودرجات تأثير البيئات المختلفة المحيطة بالمنشأ، ولتفادي احتمالات حدوث ظاهرة صدأ حديد التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة نجد أن غالبية المواصفات والكودات العالمية قد حدّدت قيماً قُصوى مسموحٌ بها وفقاً ما يلي:

1- النسبة العظمى للكلوريدات في الخلطة.
2- سمك الغطاء الخرساني لحديد التسليح.
3- أقصى عرض للتشققات.
4- سمك الغطاء الخرساني لحديد التسليح مسبق الإجهاد.

5- أقصى قيمة لـ W/C في الخرسانة وفق نوع المنشأة ودرجة تعرضها للبيئات المختلفة.

6- أقل محتوى للأسمنت كغ/م3 في الخلطة البيتونية وفق نوع المنشأة ودرجة تعرضها للبيئات المختلفة.

7- درجة جودة الخرسانة الدنيا للخرسانة المستخدمة في التنفيذ وفقاً لنوع المنشأة ولدرجة تعرضها للبيئات المختلفة والاهتمام بمعالجة الخرسانة أثناء التنفيذ.

نجد أن الكود العربي السوري لم يأخذ بعين الاعتبار سوى العوامل **الثلاثة الأولى** عند تصميم المنشآت الخرسانية في سورية **ومن الضروري أخذ العوامل الأخرى** عند تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية في الساحل السوري بعين الاعتبار حفاظاً على ديمومة هذه المنشآت واستثمارها بشكل مثالي خلال عمرها الافتراضي الذي لا يقل عن خمسين عاما "كحد أدنى وفقا "لمعايير التصميم المتعارف عليها دوليا. ويجب أن تقاوم هذه المباني خلال هذه الفترة جميع العوامل الطبيعية والتشغيلية التي تؤثر على جودة ومتانة المنشأة (مكوناتها الإنشائية) دون الحاجة الى إصلاحات رئيسية شريطة إجراء أعمال الصيانة الدورية والوقائية اللازمة لها.

وفي الدراسة المقدمة نجد أن أغلب المنشآت المدروسة والمتصدعة والتي تحتاج إلى تدعيم يتراوح عمرها بين 30-40سنة هذا ما يؤكد لنا الهدر الاقتصادي الناجم عن العيوب والتضررات في المنشأت المدروسة.

نستنتج مما سبق أنه عند القيام بتصميم أي منشأ من الضروري تحديد وبدقة نوعية المنشأ، ودرجة تعرضه للعوامل الجوية المؤثرة عليه على مدار عمره الافتراضي والتي تسبب الصدأ لحديد التسليح ومن ذلك يتم تحديد سمك الغطاء الخرساني لكل عضو خرساني على حدا هذا إن ظاهرة صدأ حديد التسليح في المنشآت الخرسانية المسلحة هي مسألة معقدة لاتزال قيد الدراسة والبحث، وهي تحتاج للكثير من الجهد والوقت ..... نظراً وإن مأتم عرضه في سياق البحث يمثل جزءاً من مشكلة كبيرة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتصميم المنشآت الخرسانية في الساحل السوري تلك المنشآت الموجودة في ظروف بيئية قاسية مثل المنطقة الساحلية، للتوصل إلى حلول عملية جيدة وممكنة لمعالجة هذه الظاهرة والحد منها، حفاظاً على ديمومة هذه المنشآت واستثمارها بشكل مثالي خلال عمرها الافتراضي ولحماية المنشآت الخرسانية المسلحة من التآكل.

للتنويه في عام 2003 وأثناء ترميم سكة الروافع على رصيف كحالة في مرفأ اللاذقية قمت بأخذ عدد من الجزرات الخرسانية من الموقع وبلغت درجة جودة الخرسانة المنفذة بالإسمنت المقاومة للكبريتات C45 وتبين بأن عمر الخرسانة في حينه حوالي 40-45 عام .

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

نستنتج في ختام البحث أنه للمحافظة على تنفيذ منشآت خرسانية مسلحة ذات جودة ونوعية عاليتين، ضرورة الاهتمام بتجنب تشكل الشقوق أو بجعل الشقوق ضمن الحدود المقبولة، ويتم ذلك باتخاذ بعض الاحتياطات والإجراءات العملية التالية:

- الاعتناء الجيد بتصميم الخلطة البيتونية واختيار مكوناتها بدقة، واستخدام مواد إضافية وملدنات خاصة، من أجل تحسين مواصفات الخلطة الخرسانية (زيادة مقاومة الخرسانة عن طريق خفض نسبة W/C (تخفيف كمية الماء في الخلطة)،والاعتناء الجيد بعملية دمك البيتون .

- استخدام خرسانة بدرجة جودة جيدة لا تقل عن C30 والتقليل من نسبة W/C في المنشآت الخرسانية المسلحة في المنطقة الساحلية.
- المراقبة الدقيقة والدورية للمنشآت الهندسية، ووضع خارطة التشققات في العناصر الهندسية – في حال ظهورها- وتحديد أسبابها ومدى اتساعها.
- ضبط سماكة طبقة التغطية الخرسانية وتأمين طبقة حماية للخرسانة بدقة، بحيث لا تكون هذه الطبقة ذات سماكة قليلة مما يؤدي لصدأ وتأكل فولاذ التسليح، ولا تكون كبيرة مما يؤدي إلى تشقق الخرسانة، وذلك باستخدام قطع بلاستيكية خاصة تؤمن وبدقة المسافة الصحيحة لطبقة الحماية الخرسانية.

التوصيات:

1- ضرورة إجراء أبحاث حول دور المثبطات وأنواعها للحد من ظاهرة صدأ الحديد في الخرسانة المسلحة.

2- مراعاة بأن يتم إدخال كافة العوامل الملحوظة في الكودات والواردة أعلاه ضمن البنود (4-5-6-7) في الكود العربي السوري الخاص بتصميم المنشآت الخرسانية المسلحة في المنطقة الساحلية.

المراجع:

[1] Thienel, K.-Ch. Werkstoffe des Bauwesens Dauerhaftigkeit von Beton. Institut für Werkstoffe des Bauwesens Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen Universität Muenchen 2008.

[2] – أبو المجد، شريف؛ سلامة، عمرو؛ كمال، منير؛ الابياري، شادية. *تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها*. دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء، مصر،1993.

[3] – تريكية، علي؛ خيربك، علي؛ زيزفون، مقداد. *دراسة صدأ قضبان التسليح ضمن البيتون مع وبدون حماية*. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33)، العدد (4)، 2011.

[4] TAHERSHAMSI, M. *Structural Effects of Reinforcement Corrosion in Concrete Structures*. THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering Concrete Structures CHALMERS, UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gothenburg Sweden 2016.

[5] – تريكية، علي؛ منصور، نزيه؛ آل الفضل، الشريفة بهيجة. *تأثير الصدأ على إجهاد التماسك في البيتون المسلح*. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33)، العدد (1)، 2011.

[6] EUROCODE 2, *Design of Concrete Structures*-Part 1.1*:* General Rules and Rules for Buildings, December 2004

[7] Rozenfeled I. L. *Corrosion Inhibitors*. Institute of Physical Chemistry USSR Academy of Science, Mc GRAW-HILL International Book Company, 2007.

[8] ACI Committee 222 . *Corrosion of Metals In Concrete*. Manual. Admixture for Concrete and Shotcrete MCI – 2006 NS,"Migration Corrosion Inhibiting Admixture for New Reinforced Concrete.

[9] ACI Committee 201,"Guide to Durable Concrete", Manual of Concrete Practice , Part 1 , American Concrete Institute Detroit ,1994

[10] ACI Committee 357,"Guide for Design and Construction of Fixed Off-Short Concrete, Detroit, 1994.

[11] – طريفي، زكائي؛ منصور، نزيه؛ ميا، علاء. *تأثير تكرين البيتون على ديمومة بعض الجسور الطرقية الواقعة في المنطقة الساحلية السورية*. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (27)، العدد (1)، 2005.

[12]– أحمد، محمد عبد اللطيف. *إيجاد معدل فرق الوزن للأسطح المعدنية المعرضة للتآكل بوجود الاهتزاز (تآكل –اهتزاز)*. مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 30 ، العدد20 ،2012، 446–462.

[13] British Standard PD 6534:1993, *Guide to use in the UK of DD ENV 206*:1992, "concrete-Performance, Production, Placing And Compliance Criteria ".

[14]– *الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية*. كود رقم 203 تحديث ثاني، الطبعة السابعة، إصدار 2001.https://www.scribd.com/doc/7679690/الكود-المصري-للبناء

[15] – *الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة*. الطبعة الرابعة، نقابة المهندسين في القطر العربي السوري، دمشق ، 2012.

[16] European pre- standard ENV 206, "*concrete-Performance*", Production. Placing and Compliance Criteria, 1992.

[17] Thienel,K.-Ch.*Werkstoffe des Bauwesens Dauerhaftigkeit von Beton*. Institut Fuer Werkstoffe des Bauwesens, Fakulitaet fuer Bauingenieur- und Vermessungswesen, der Bundeswehr Universitaet Muenchen, 2008.