خطوات عملية لترميم ومعالجة منشآت البيئة البحرية

■ أ . حاتم عبد الرازق الزوكي* ■ أ.فؤاد فوزي المنصوري**

الملخص :

إن لمياه البحر تأثيراً كبيراً جداً على المباني والمرافق المختلفة ويتمثل هذا التأثير في إتلاف هذه المنشآت عن طريق مهاجمة الأملاح الموجودة بها للمواد المصنعة منها تلك المرافق (خرسانة، حديد ،..... الخ) . ونظراً لكون المنشآت الخرسانية المسلحة من اكثر المنشآت انتشاراً على شواطئ مدينة درنه، لذا سوف تتناول هذه الورقة دراسة مفصلة عن تأثر المنشآت الخرسانية المسلحة بالأملاح نتيجة تعرضها لرذاذ البحر والطرق الوقائية والعلاجية لإصلاح وترميم تلك المنشآت عملياً من خلال دراسة واقعية لأحد المباني المقامة على شاطئ مدينة درنة، وقد تضمنت الدراسة مجموعة من البرامج الحقلية والاختبارات المعملية التي تم الاعتماد عليها في البحث والتي شملت عمليات الفحص والتشخيص البصري، والتحليل الكيميائي للبودرة المستخلصة من الخرسانة، وقياس المقاومة الميكانيكية للعناصر الخرسانية المسلحة باستخدام مطرقة الارتداد (مطرقة شميدت) .وقد أوضحت الدراسة ان الاهتمام بجودة الخرسانة والتقيد بالشروط والمواصفات الفنية أثناء التنفيذ يساعد كثيراً في إطالة عمر المنشأ وحمايته من المؤثرات البيئية، كما أوضحت أن عمليات المعالجة والترميم يجب أن تتم وفق دراسة دقيقة تتمثل في تحديد اسباب الضرر وإيقاف المصدر الأساسي الذي تسبب في وجود هذا الضرر ومن ثم معالجة الضرر باتباع الأصول الفنية الصحيحة . وخلصت الورقة بمجموعة من الاستنتاجات والتوصيات الواجب اعتمادها للمنشآت المقامة على الشاطئ .

* عضو هيئة التدريس بقسم الهندسة المعمارية - كلية العمارة والفنون بجامعة عمر المختار / درنه.

**مهندس خريج جامعة عمر المختار - كلية الهندسة

1 - مقدمة :

تمتاز الخرسانة الجيدة بقوة التحمل والمقاومة الكبيرة للعوامل البيئية المختلفة وذلك إذا ما تم خلطها وصبها ودمكها طبقاً للمواصفات القياسية، إلا أنها قد تتعرض أحياناً إلى ظروف بيئية قاسية كمهاجمة الأملاح (الكلوريدات – الكبريتات) الموجودة في البيئة البحرية بتراكيز عالية، فتتغير خواصها تدريجياً، وتتأثر خاصية تحملها مع الزمن سلبياً بالإضافة إلى تآكل صلب التسليح بها فيزداد التصدع وتسؤ حالة المنشأ اكثر، مما قد يؤدي في النهاية إلى انهياره قبل العمر الافتراضي له .[1] لذا لابد من توفر الدراسات والأبحاث الكافية المتعلقة بتشخيص وتقييم منشآت البيئة البحرية لمعرفة مدى تأثير تلك الأملاح الموجودة بها على الخرسانة المسلحة والطرق العملية لمعالجتها.

لقد أجريت دراسات حقلية ومعملية عديدة حول تأثير الأملاح على الخرسانة المسلحة وصدأ صلب التسليح وكل هذه الدراسات تهدف إلى معرفة الظروف البيئية القاسية التي تؤدي إلى تصدع وتدهور الخرسانة المسلحة حسب مناخ المنطقة المقام عليها المبنى وتركيز الأملاح بها، ودراستنا هذه تندرج في هذا السياق، حيث تناولت دراسة واقعية على مبنى التعليم المقام على شاطئ مدينة درنة في المنطقة الواقعة إلى الغرب من رأس بوعزة والتي تعتبر من أكثر أجزاء الساحل تأثراً برذاذ البحر، وذلك لتقييم المنشأ والوقوف على أهم المشاكل والعيوب الموجودة به وتشخيصه تمهيداً للحكم على سلامته واختيار الحل الأمثل لمعالجته . وسوف تساعد هذه الدراسة المهندس الإنشائي في تفهم التأثيرات البيئية القاسية لمياه البحر على المنشآت الخرسانية المسلحة، والتي قد تؤثر على قوة تحملها مع الزمن، وتتسبب في تآكل صلب التسليح بها، وكذلك توضيح الطرق الوقائية والعلاجية اللازم اتخاذها لتفادي حدوث التدهور لتلك المنشآت من خلال عدة خطوات عملية .

2 - تأثر المنشآت الخرسانية المسلحة بالبيئة البحرية :

يختلف تركيز الأملاح ومكونات ماء البحر بدرجات بسيطة من مكان لآخر، وبصفة عامة يحتوي ماء البحر على أملاح كلية تتراوح من 3.6 – 4.0 ٪، حيث تمثل الكلوريدات حوالي 90 ٪ منها [يمثل كلوريد الصوديوم ($MgCl_2$) منها حوالي 75 – 78 ٪، ويمثل كلوريد الماغنيسيوم ($MgCl_2$) حوالي 10 – 11 ٪]، بينما تمثل الكبريتات 10 ٪ الباقية من الأملاح الكلية [تمثل كبريتات الماغنيسيوم ($MgSO_4$) نصف هذه النسبة، بينما يمثل الجبس وكبريتات البوتاسيوم ($K_2 SO_4$) النسبة الباقية]، ويحتوي ماء البحر أيضًا على كميات صغيرة من مركبات البروم واليود، ويتراوح الأس الهيدروجيني (pH) لماء البحر من 7.5 – 8.4 [2].

2 - 1 تأثير الكبريتات على الخرسانة :

- يؤدي تفاعل الكبريتات مع ثلاثي الومينات الكالسيوم الموجود في الأسمنت إلى تكون سلفا الومينات الكالسيوم والذي بدوره يؤدي إلى الزيادة في الحجم الذي ينتج عنه تولد اجهادات شد تسبب في تشرخ الخرسانة [3]

- وتهاجم أملاح كبريتات الماغنيسيوم الخرسانة المغمورة في الماء، حيث تتفاعل مع ماءات الكالسيوم في الخرسانة حسب المعادلة :

$$Mg\,SO_4 + Ca(OH)_2 \quad \Longleftrightarrow \quad Ca\,SO_4 + Mg(OH)_2$$

وبما أن ماءات الماغنيسيوم الناتجة قليلة الذوبان، فإنها تترسب على شكل طبقة رخوة ينفذ الماء من خلالها مع أملاح الماغنيسيوم لتتفاعل مع ماءات الكالسيوم ويستمر التآكل في الخرسانة

2 - 2 تأثير الكلوريدات :

تعتبر ايونات الكلوريدات من اكثر المواد شيوعاً التي تدمر الطبقة الواقية الخاملة على سطح صلب التسليح، حيث وجود الكلوريدات يؤدي إلى تنشيط عملية التآكل ولو كانت قاعدية الخرسانة مازالت مرتفعة .

إن أملاح الكلوريدات عند ما تتغلغل داخل الخرسانة تعمل على تحطيم الطبقة الأوكسيدية الواقية للحديد، فأيونات الكلوريد تتسرب وتنتشر خلال المسامات والشروخ في حالتها الذائبة أو قد تتحد مع بعض المركبات الكيميائية الموجودة بالأسمنت، وتعتبر ايونات الكلوريد في الصورة الحرة اكثر خطورة في احداث التآكل [4].

ومن العوامل التي تؤدي إلى زيادة تركيز الكلوريدات في حالتها الحرة الكبريتات ولهذا يجب اخذ الحيطة عند استخدام اسمنت كبريتي وخاصة في المناطق التي تحتوي على نسبة عالية من الكلوريدات . وتعتمد سرعة انتشار الكلوريدات داخل المسامات على عدة عوامل منها : الطبيعة الكيميائية للأسمنت المستخدم وحجم ومساحة المسامات داخل الخرسانة (النفاذية) . ويمكن منع التآكل من الحركة عن طريق خفض تركيز الأوكسجين اوزيادة نسبة تركيز الكلوريدات إلى ضعف درجة تركيز مياه البحر نظراً لنقص قدرة الأوكسجين على الذوبان مع درجات التركيز الأعلى مما يؤثر على درجة التآكل .

3 - صدأ صلب التسليح :

صدأ الحديد (أو أي معدن) هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل

بين صلب التسليح والخرسانة، وتحتاج إلى عامل مؤكسد – الأكسجين – ورطوبة – وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب (الأنود) إلى قطب سالب (الكاثود) في المعدن، ويجب توفر الوسط الذي ينقل التيار الكهربي من القطب الموجب إلى القطب السالب، وهو عادة ماء أو محلول مائي به أملاح ذائبة، وتحدث في هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيميائية كما هو موضح بالشكل (1)، وذلك وفقًا للتفاعلات التالية :

أ – يذوب الحديد من القطب الموجب – أنود – على هيئة أيونات الحديدوز (Fe^{+2})، وتتحرر الإلكترونات (– 4e)

$$2Fe \longrightarrow 2Fe+2 + 4e \quad -$$

ب – تتفاعل الإلكترونات المتولدة من التفاعل السابق (– 4e) عبر سيخ الحديد (موصل الإلكترونات) إلى منطقة القطب السالب (كاثود)، حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيل $(OH)^-$ والتي تنتقل خلال الوسط الخرساني (موصل الأنود) لضمان عدم تراكم شحنة كهربائية، حسب التفاعل :

$$2H_2O + O_2 + 4e \longrightarrow 4(OH)^-$$

ج – عند تقابل نواتج التفاعلين – أيونات الحديدوز مع أيونات الهيدروكسيل – يترسب هيدروكسيد الحديدوز وفقًا للتفاعل :

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

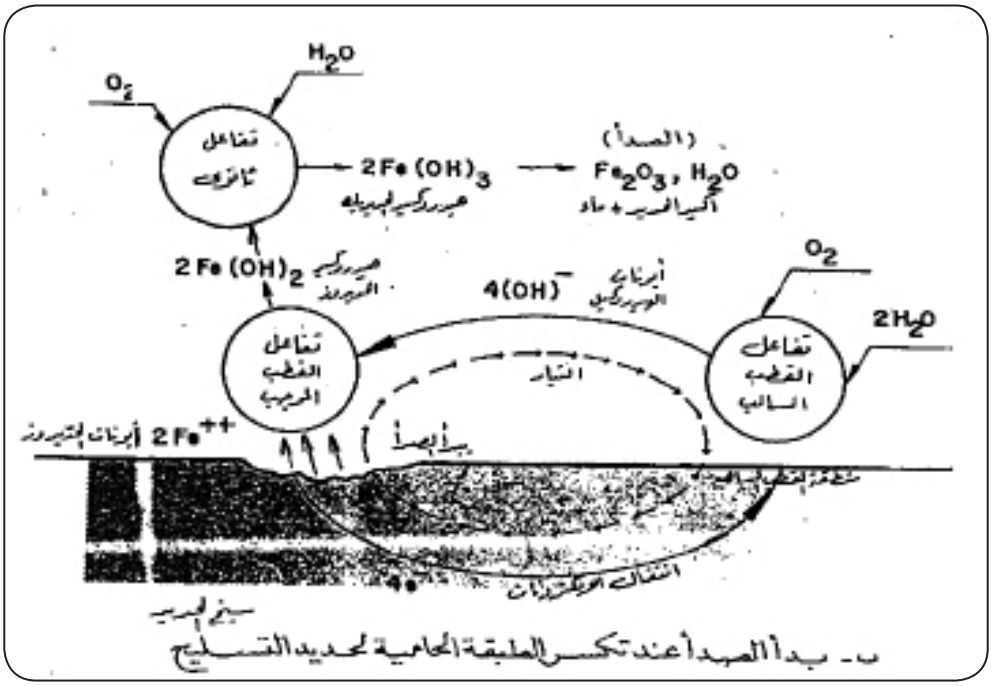
د – يتأكسد هيدروكسيد الحديدوز الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى هيدروكسيد الحديديك (تفاعل ثانوي) الذي يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أكسيد الحديد) طبقًا للتفاعل :

$$2Fe(OH)2 \xrightarrow{O2H2O} 2Fe(OH)3 \longrightarrow Fe2O3.H2O$$

ويعتبر أكسيد الحديد الناتج شديد الامتصاص للماء وضعيف الالتصاق بالحديد، وبذلك يسهل إزالته بالذوبان البطيء تاركًا سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد، ويمكن عن طريق قياس التيار الكهربي في أسياخ الحديد معرفة الصدأ في الأسياخ التي يصعب الكشف عليها، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ [5].

وهيدروكسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم السيخ الأصلي زيادة كبيرة، مما يؤدي إلى تولد إجهادات انفصالية دائرية عالية حول أسياخ التسليح، تؤدي إلى شروخ

دائرية محلية، وهذه الشروخ الانفصالية يمكنها الامتداد بطول السيخ، مكونة شروخ طويلة موازية للأسياخ، كما هو موضح في الشكل (2 ب)، وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية في التساقط، كما هو مبين في الشكل (2 جـ)، كما يمكن حدوث شرخ عريض عند مستوى مجموعة من الأسياخ القريبة من السطح، مما يؤدي إلى انفصال السطح إلى طبقات.[6]



شكل (1) نموذج للتفاعل الكيميائي في حالة الصدأ.

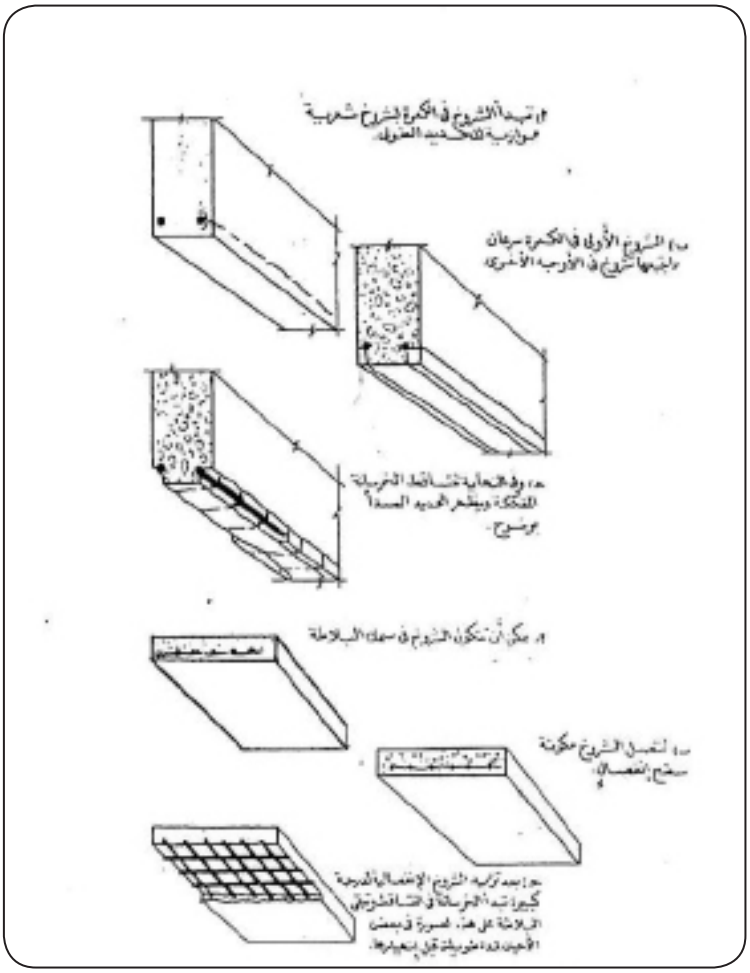
4 - حماية الخرسانة لأسياخ صلب التسليح من الصدأ :

الحماية التي توفرها الخرسانة لأسياخ صلب التسليح ضد الصدأ ذا شقين :

- تفاعلات كيميائية على سطح صلب التسليح تؤدي إلى تكون طبقة حامية سلبية على سطح الأسياخ.
- حاجز يمنع وصول الرطوبة والأملاح في الجو المحيط إلى الأسياخ، وهذا الحاجز هو الغطاء الخرساني للأسياخ.

وترجع هذه الحماية إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسياخ قاعدية بدرجة كبيرة، حيث إن التفاعلات التي تحدث أثناء شك وتصلد الخرسانة تولد مواد قاعدية (هيدروكسيدات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم) في الماء الموجود في مسام الخرسانة، وهذه القاعدية

ذات أس هيدروجيني (PH) يتراوح من 12.5 – 13.5، وعند هذه القيمة للأس الهيدروجيني فإن التفاعلات الكيميائية التي تحدث على سطح أسياخ التسليح تؤدي بسرعة إلى ظروف سلبية (أي ظروف تصبح فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة) ؛ كما تؤدي هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رفيعة جدًّا من نواتج الصدأ مثل أكسيد الحديد (Fe_2O_3) فتلتصق بسطح السيخ وتمنع حدوث صدأ صلب التسليح، وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ صلب التسليح هي سبب حماية هذه الأسياخ، وعمليًّا فإن هذه الحماية فعالة لمدد طويلة إلا إذا فقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل في الخرسانة أو نتيجة للتحول الكربوني للخرسانة السطحية [7]



شكل (2) مراحل تدهور الخرسانة نتيجة صدأ صلب التسليح

يمكن تلخيص ما سبق في أن تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد يمر بالمراحل الآتية :

1 - عند تصلد الخرسانة تتكون طبقة حامية سلبية حول أسياخ الحديد نتيجة قاعدية خرسانية – الأس الهيدروجيني من 12.5 – 13.5 .

2 - عندما تقل قاعدية الخرسانة - أقل من 10 – يتم فقد هذه الطبقة الحامية، ويصبح السيخ معرضا للصدأ، وقاعدية الخرسانة تقل إما لوجود أبخرة حامضية أو لحدوث تحول كربوني للخرسانة السطحية، أو وجود الكلوريدات، أو وجود شروخ سطحية بالخرسانة .

3 - التحول الكربوني بطيئاً جدا في الخرسانة الجيدة ولكن عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها وقلة سمك الغطاء الخرساني ووجود الشروخ السطحية ووجود رطوبة من 50 – 75 ٪، تسرع بمعدله .

4 - الكلوريدات تأثيرها على صدأ الحديد يبدأ إذا زاد تركيزها في الخلطة الخرسانية عن 0.30 ٪ من وزن الأسمنت، ويكون تأثيرها أخطر إذا كانت من مصدر خارجي.

5 - يبدأ الصدأ عند توفر الأكسجين والرطوبة، وتظهر بقع الصدأ ثم تظهر شروخ شعرية طولية موازية للحديد الرئيسي وفوقه مباشرة.

6 - استمرار عملية الصدأ يؤدي إلى تشريخ الغطاء الخرساني، لأن أكسيد الحديد الناتج من الصدأ حجمه أكبر كثيرًا من حجم الحديد الأصلي.

7 - كلَّما ازداد الصدأ كلَّما زادت الشروخ في الطول والعرض، ثم تبدأ الخرسانة في التساقط، وتظهر الأسياخ الصدأة بوضوح [8].

5 – صيانة وترميم المباني المتدهورة بفعل رذاذ البحر عملياً :

إن عملية الصيانة والترميم تعتمد بشكل أساسي على عنصرين أساسيين وهما :

- الكشف والتشخيص
- تقييم جدوى الإصلاح

اولاً : التشخيص :

قبل الشروع في أية إصلاحات من الضرورى الوقوف على أسباب التدهور وهذا ما يسمى بالتشخيص .

فالقيام بأعمال الإصلاح دون إزالة الأسباب الأصلية التى أدت إلى التدهور مضيعة للجهد والمال لأن العيوب ستظهر مرة أخرى فلابد من إزالتها أولاً .

ثانياً : تقييم جدوى الإصلاح:

هذا التقيم يتطلب معرفة الآتي :

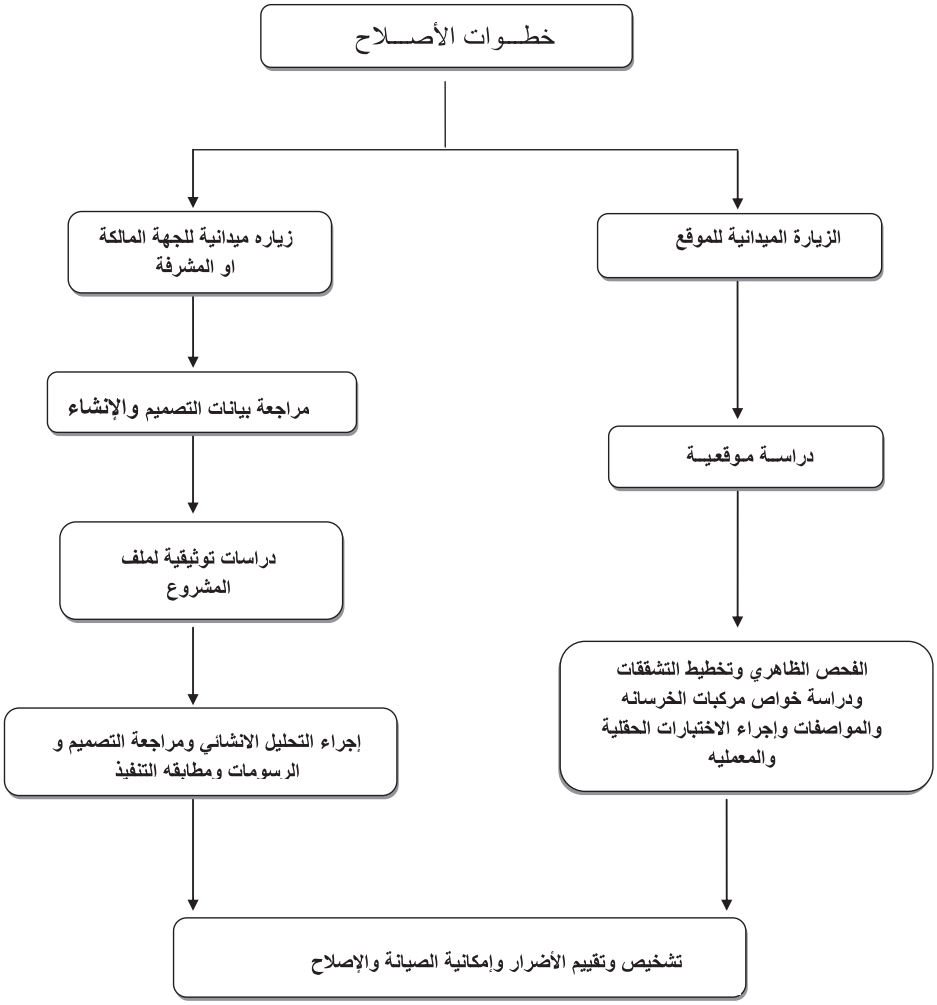
■ هل الأمر يستدعي عمل إصلاح ؟

أم أن التدهور غير مؤثر ؟

■ هل من الممكن عمل إصلاح فعال؟

■ هل الأمر يستحق عمل هذا الإصلاح؟

فقد يكون التدهور وصل الى الحد الذى لايمكن إصلاحه بتكلفة معقولة أو أن الإصلاح لن يدوم فتصبح الإزالة والاستبدال هو الحل الصواب والأقل في التكلفة .



(دراسه واقعية على أحد المبانى المتضررة على شاطئ مدينة درنة)

أولاً : معلومات توثيقية عن المبنى:

من خلال الزيارة الميدانية للجهة المالكة والأطلاع على ملف المشروع تبين الآتي :

- الجهة المالكة للعقار : وزارة التعليم
- موقع العقار :يقع العقارعلى شاطئ مدينة درنه (كورنيش درنة) في المنطقة الواقعة إلى الغرب من رأس بوعزة حيث يعتبر من أكثر أجزاء الساحل تأثراً برذاذ البحر .
- عمر المنشأ : يفوق 35 عاما .
- بيانات معمارية : يتكون المبنى من ثلاثة طوابق مساحة المسقوف لكل طابق 450 م2 تقريباً منشأ على قطعة أرض مساحتها الإجمالية 1200 م2 تقريباً.
- بيانات إنشائية : المبنى من النظام الإنشائي الهيكلي (بلاطات خرسانية مسلحة تنقل احمالها إلى كمرات ومنها إلى الأعمدة والأساسات)
- أعمال الصيانة التي تم تنفيذها للمبنى : تم اجراء عدة صيانات دورية بسيطة للمبنى إضافة إلى صيانة طارئة تم تنفيذها من قبل مصلحة المباني التعليمية عقد رقم (512 / 2007) بقيمة إجمالية (447754.637 د.ل)، ولم يتم الإستلام النهائي لأعمال الصيانة (بعد سنة من الأستلام الأبتدائي) من قبل المصلحة نظراً لظهور عيوب جوهرية أثناء الإستلام .

- الوضع الحالي للمبنى : متدهور(سيء جداً) [9]

ثانياً : حالة المبنى والمشاكل التي يعانيها :

من خلال الزيارة الميدانية والكشف الظاهري للمبنى تبين تدهور وتصدع معظم أجزاء المبنى خاصة العناصر الإنشائية على الواجهة البحرية على الرغم من الصيانات المتكررة له خلال عمر المنشأ حيث تبين الآتي :

- عناصر خرسانية متشققة (بلاطات – كمرات – أعمدة) حيث تمثل الحالة (بداية تآكل صلب التسليح)
- عناصر خرسانية بها انتفاخ (بلاطات – كمرات – اعمدة) حيث تمثل الحالة (المرحلة الثانية لعملية التآكل)
- عناصر خرسانية متدهورة – سقوط كامل لطبقة التغطية وتلف صلب التسليح - (بلاطات كابولية – كمرات – أعمدة) حيث تمثل الحالة (المرحلة النهائية لعملية التآكل)

■ انهيار وتدهور خزان المياه المسلح فوق السطح .

■ صدأ وتآكل معظم الأعمال المعدنية (شبابيك، ابواب، .....الخ).

لذا توجب علينا إجراء الإختبارات الحقلية والمعملية للمبنى والوقوف على أسباب هذا التدهور وإمكانية معالجته .

ثالثاً : الاختبارات الحقلية والمعملية المنفذة على المبنى :

ا – الفحص والتشخيص البصري :

من خلال الزيارة الميدانية للموقع والفحص والتشخيص البصري للمبنى تبين الآتي :

■ شروخ سطحية في البياض الأسمنتي في معظم جدران البناية .

■ شروخ مستقيمة ومتعامدة تأخذ شكل تسليح البلاطة في بعض السقفيات .

■ شروخ رأسية عند حافات بعض الأعمدة وكذلك عند موضع أسياخ التسليح الرأسية على جوانب الأعمدة .

■ شروخ أفقية عند حافات بعض الكمرات بجوار صلب التسليح الرئيسي .

■ تكسر في حافات الاعمدة والكمرات والشرفات وظهور حديد التسليح المتآكل .

■ التآكل السطحي وتفتت الخرسانة نتيجة مهاجمة أملاح الكبريتات .

■ سقوط الغطاء الخرساني وتآكل صلب التسليح في بعض الكمرات والأعمدة والبلاطات الكابولية إلى درجة كبيرة تفوق 40 ٪ من قطر السيخ الأصلي .

والشكل (3) (a،b،c،d،e،f) يوضح حالة المبنى والتصدعات الحاصلة به .

(a) صورة توضح سقوط الغطاء الخرساني وتآكل صلب التسليح لأحد السقفيات بالمبنى

(b) صورة توضح سقوط الغطاء الخرساني وتفتت الخرسانة نتيجة تغلغل الأملاح بها وتآكل صلب التسليح الرئيسي والكانات لعمود خارجي على الواجهة البحرية للمبنى

(c) صورة توضح تكسر في حافات الأعمدة والبلاطات الكابولية وسقوط الغطاء الخرساني وظهور حديد التسليح المتآكل

(d) صورة توضح تشققات وتصدع الخرسانة لبعض عناصر المبنى المطلة على الواجهة البحرية

(e) صورة توضح انهيار بلاطة خرسانية وكمرات إحدى شرفات المبنى وتدهور وتلف صلب التسليح

(f) صورة توضح تشققات وتدهور حوائط المبنى - وسقوط الغطاء الخرسانى وتأكل صلب التسليح بالكمرات الخارجية

شكل (3) حالات التدهور في مبنى التعليم بكورنيش درنه

ب – استخلاص عينات من البودرة للخرسانة المنفذة، لعناصر إنشائية مختلفة بالمبنى وعلى أعماق مختلفة تراوحت بين (5 - 10 سم) وتحليلها كيميائياً [10]. وقد كانت النتائج كالآتي :

- متوسط قيمة الأس الهيدروجيني (pH=10.5)
- تجاوزت نسبة الكبريتات (SO3) النسبة (0.2 ٪) المسموح بها في الأوساط البحرية .
- تجاوزت الناقلية الكهربية (EC)المقدار (1) وهذا دليل على ملوحة الوسط الخرساني.
- متوسط نسبة الكلوريدات (CL) (0.24)

ج – إجراء اختبار مطرقة الارتداد (مطرقة اشميدت) على العناصر الإنشائية الأكثر تضرراً بالمبنى[11]. وكانت النتائج على النحو التالي :

رقم	العنصر المختبر	متوسط قراءات مطرقة الارتداد	المقاومة المناظرة كجم / سم^2	زاوية استخدام الجهاز
1	الأعمدة الخرسانية	28	206	صفر ←
2	الكمرات الخرسانية	25	163	صفر ←
3	البلاطات الخرسانية	33	221	↑ 90
4	الشرفات الخرسانية	29	156	↑ 90

مما يتبين تضرر بعض العناصر الإنشائية للمبنى (الأعمدة – الكمرات – الشرفات) وفقد مقاومتها (المقدرة الإنشائية) لذا يتطلب إصلاحها وإضافة حديد التسليح بها لاستعادة المقدرة الإنشائية لها .

رابعاً : النتائج وتقييم الأضرار:

من خلال دراسة وتقييم النتائج المتعلقة بالزيارة الموقعية والاختبارات المنفذة تبين الآتي

ا – فيما يتعلق بجودة تنفيذ الأعمال بالمبنى ومدى مطابقتها للمواصفات لوحظ :

- قلة سمك الغطاء الخرساني للعناصر الخرسانية المعرضة لتأثير رذاذ البحر والذي لم يتعد 40 ملم في بعض الأعمدة والكمرات .
- عدم الأهتمام بالدمك الجيد للخرسانة وهذا واضح من خلال ملاحظة التعشيش في بعض العناصر الخرسانية خاصة بالأعمدة والتي معظم حالات الصدأ حصلت بأسفلها .
- عدم استخدام الإضافات الكيميائية والمعدنية لتقليل النفاذية ويتضح ذلك من خلال تغلغل الأملاح وانتشارها داخل بعض العناصر الخرسانية على الواجهة البحرية .
- عدم استخدام تكسيات ملائمة لمقاومة هجوم الأملاح على الواجهة البحرية للمبنى.

ب – الوسط الخرساني لبعض العناصر على الواجهة البحرية ملوث بالكلور والأملاح مما أدى إلى تسارع عملية التآكل بصلب التسليح في ظل نسب الرطوبة العالية كما يوجد بوادر خطورة من زيادة نشاط الكلوريدات على صلب التسليح مع ازدياد انخفاض قيمة الأس الهيدروجيني (pH) مع الزمن .

ج – بشكل عام ومن خلال الفحص البصري لوحظ شروخ وتشققات في معظم الأسطح

الخرسانية للمبنى وكذلك تشققات عمودية بالأعمدة وتشققات أفقية في الكمرات وهذا راجع إلى تعرض أسطح المبنى إلى دورات من البلل والجفاف .

د – فقد المقاومة (المقدرة الإنشائية) لبعض العناصر الخرسانية بالمبنى (الكمرات – البلاطات الكابولية – الأعمدة) نتيجة تآكل وتدهور الخرسانة وصلب التسليح مما يشكل خطراً بالغاً لتأثير العوامل البيئية، وهذا يتضح من خلال اختبارات مطرقة الارتداد على بعض عناصر المبنى .

هـ – عمليات الصيانة السابقة على المبنى والمشار إليها أعلاه عقد رقم (512 - 2007) لم تكن مجدية ولوحظ القصور بشأنها، حيث لم تتضمن المقايسة بعض البنود الأساسية والمتعلقة باسترجاع المقدرة الإنشائية لبعض العناصر (الأعمدة – الكمرات – الشرفات) بالمبنى وكذلك عدم معالجة صدأ صلب التسليح الذي تتعدى نسبته 20 ٪ من قطر السيخ (صدأ متوغل) وفقاً للأصول الفنية .

خامساً : الإجراءات المتخذة :

من خلال نتائج الاختبارات وتقييم الأضرار تبين بالإمكان إجراء الصيانة على المبنى ولكن تكلفة الإصلاح وإعادة التأهيل للمبنى وفق أسعار السوق المحلية تجاوزة مانسبته (50 ٪) من كلفة إعادة الإنشاء . فيبقى الأمر متوقف على إجراء دراسة جدوى اقتصادية وفنية لمقارنة عملية الإصلاح مع عمر المنشأ، خاصة وأن المنشأ قد اجريت الصيانة له في السابق وصرفت عليه تكاليف باهظة . وسوف نوضح أدناه الإجراءات الواجب اتخاذها لكلا الحالات .

1 - **في حالة معالجة وترميم المبنى يتطلب الآتي :**

أ - إصلاحات إنشائية وتتمثل في :

• استرجاع أو زيادة المقاومة لبعض العناصر الإنشائية للمبنى (أعمدة - شرفات وبلاطات خرسانية - كمرات) وعلى النحو التالي :

تقوية الأعمدة على الواجهة البحرية بعمل قميص خرساني :

- يتم معالجة سطح العمود وإزالة الغطاء الخرساني
- يتم توزيع اشاير الحديد المستجد للقميص وذلك باستخدام مونه ايبوكسية لربط

الخرسانة بالحديد

■ يتم رص حديد التسليح الأساسي للعمود وكذلك الكانات المستجدة

■ مضاعفة عدد الكانات في كل من المنطقة العليا والسفلى من العمود وذلك لارتفاع يساوي تقريبا نصف البعد الأكبر من قطاع العمود المستجد

■ يتم الصب مع مراعاة الملاحظات اللازمة للحصول على الخرسانة قليلة الانكماش وكذلك الاحتياطات اللازمة لارتفاع طبقات الصب .

■ في حالة ما إذا كان سمك القميص اقل من 10سم يمكن استخدام قاذف الخرسانة في صب القميص.

تقوية البلاطات الكابولية بإضافة تسليح مستجد وزيادة العمق من أسفل :

في هذه الحالة يتم إهمال التسليح القديم في البلاطة ويعمل التسليح المستجد على مقاومه إجهادات الشد في البلاطة

وتتبع الخطوات التالية :

■ كشف الغطاء الخرساني لشبكة حديد التسليح القديمة

■ زرع الأشاير على العمق المطلوب

■ تثبيت شبكة التسليح المستجدة وتعليقها في البلاطة بطريقة مناسبة

■ إعادة صب الجزء السفلي من البلاطة بإستخدام قاذف الخرسانة .

تقوية الكمرات :

ويكون ذلـــك باتباع الآتي :

■ إضافة حديد تسليح أساسي مستجد (أسياخ أو شرائح) دون زيادة في العمق لبعض الكمرات المحملة على الحوائط وتتبع الخطوات التالية :

■ يتم كشف الغطاء الخرساني لأسياخ التسليح

■ يتم زرع الأشاير بنفس العدد والقطر لشبكة التسليح المستجدة أو بلحم الأسياخ المستجدة مع الأسياخ القديمة

■ يتم تثبيت شبكه التسليح المستجد إما باستخدام اشاير مثبتة في الكمرة أو باستخدام قاذف المونة أو (بالتلبيش).

- تقوية الكمرات بزيادة العمق من اسفل وذلك للكمرات الساقطة وغير المحملة على حوائط (الكمرات الحاملة للبلاطات الكابولية للطابق الأول)

وتتبع نفس الخطوات المذكوره بتقوية البلاطات بإضافة تسليح جديد ويمكن في هذه الحاله لحام التسليح المستجد في التسليح القديم بدلا من توزيع الاشاير .

- إصلاح صدأ صلب التسليح (صدأ متوغل تتعدى نسبة 20 ٪ من قطر السيخ) والذي يؤثر في تحمل ومقاومة العنصر الإنشائي وكما يلي :
- كشف الغطاء الخرساني حتى ظهور حديد التسليح
- إزالة الصدأ إما بفرش السلك أو باستخدام قاذف الرمل
- تحديد مدى تاكل حديد التسليح وباتالي تحديد نسبة الحديد المستجد اللازم للإستعواض
- توزيع أشاير بنفس القطر والعدد للاسياخ المستجدة وذلك باستخدام مونى ايبوكسيه مناسبة لربط حديد التسليح بالخرسانة
- تثبيت شبكة حديد التسليح المستجدة (عمل تقفيصة التسليح)
- دهان حديد التسليح (القديم والمستجد) بمادة أيبوكسية تحمي حديد التسليح من الصدأ ثم رش حديد التسليح بعد الدهان مباشرة بالرمل لزيادة تماسك مع الخرسانة
- إعادة الغطاء الخرساني (او صب القميص) إما باستخدام قاذف المونة أو قذاف الخرسانه أو صب القمصان بفتح ابواب في الشدة الخشبية بحيث لا تزيد المسافة التي يتم صبها عن ارتفاع متر واحد . [12]

ب – إصلاحات غير إنشائية وتتمثل في الآتي :

- تحسين الأداء الوظيفى أو المظهر الجمالى للخرسانة
- تحسين العزل للخرسانة ضد المياه والأملاح .
- .إصلاح صدأ الحديد الذى لا تتعدى النسبة 20 ٪ من قطر السيخ وذلك بعملية علاج بسيطة تكمن في إزالة البياض والغطاء الخرسانى وتنظيف سطح الحديد جيداً باستخدام فرشة سلك أو برش رمل لإزالة الصدأ، ومن ثم دهان سطح

حديد التسليح بمادة مانعة للصدأ وكذلك دهان السطح السفلي للخرسانة بمادة لاحمة للخرسانة القديمة بالجديدة ثم عمل الطرطشة بالمونة الأسمنتية .

• إزالة التبقيع والتمليح .

• إصلاح تساقط وتعشيش الخرسانة .

• سد الشروخ وملئها حسب المواصفات المتبعة وحاجة العنصر الخرساني وتشمل :

دهان الشروخ الشعرية – العلاج بالبخار – الملئ اليدوى - الثقب والحشو

الحقن بالأيبوكسى - الحقن بالمونة – التشرب بالبوليمرات – التغطية بمادة مطاطة .

• وقف تقدم الشروخ عن طريق : التزرير – التثبيت .

• اعمال أخرى متمثلة في (أعمال الطلاء – البياض الأسمنتي – أعمال معدنية - البلاط والتكسيات – أعمال كهربائية ...الخ)

2 - في حالة إنشاء مبنى جديد يتطلب الآتي :

• أن تكون الخرسانة المستخدمة في المشروع :

■ غنية بالأسمنت وأن يكون الأسمنت من النوع المقاوم للأملاح مثل الأسمنت الألومينى، كما يفضل استخدام الأسمنت عالي الخبث 85 ٪ (الأسمنت الحديدي) عن استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي.

■ ألا تتزيد نسبة الكلوريدات القابلة للذوبان في الماء بالخرسانة عن 0.1 ٪ من وزن الأسمنت . [13]

■ أن يراعى وجود غطاء خرساني كافٍ فوق حديد التسليح على ألا يقل سمك الغطاء الخرساني عن 50مم للخرسانة المغمورة والخرسانة المعرضة للهواء الجوي، وألا يقل عن 70مم للخرسانة المعرضة للبلل والجفاف.

■ أن يعتنى تمامًا بصناعة الخرسانة بصفة عامة وخصوصًا عملية الدمك لجعل الفراغات أقل ما يمكن والحصول على خرسانة كثيفة .

• استخدام الإضافات الكيميائية أو المعدنية لتحسين أداء الخرسانة ومنع تسرب المياه والأملاح اليها .

• استخدام التكسيات الملائمة والمقاومة لهجوم الاملاح في تنفيذ واجهات المباني .

• الابتعاد قدر الإمكان عن استخدام المواد المعدنية والقابلة للصدأ في واجهات المباني.

3 - **إجراء الصيانة الدورية للمبنى والتي تكون في الغالب على النحو التالي]14[:**

الفحص والإختبار والصيانة	الفترة
المباني المتعددة الأدوار	5 سنوات
الطلاء والتجميل الداخلي	2.5 سنه
الطلاء والتجميل الخارجي	5 سنوات
الخدمات الكهربية والميكانيكية	سنوياً
خزانات المياه فوق الأسقف	سنوياً
تجديد الوصلات والتمديدات الكهربائية	25 - 30 سنة

سادساً : الاستنتاجات :

1 - عدم التقيد بالمواصفات الفنية وجودة تنفيذ الخرسانة بالمبنى اثناء تنفيذه، (في جميع مراحله بداية من عمليات الخلط مروراً بعمليات الصب والدمك والمعالجة، والمحافظة على سمك الغطاء الخرساني ...الخ) من أهم الأسباب الرئيسة التي أدت إلى تدهور حالة المبنى وتآكل صلب التسليح به وتأثره بالمؤثرات البيئية القاسية والمتمثلة في مهاجمة الأملاح .

2 - عدم استخدام الإضافات الكيميائية أو المعدنية لتحسين أداء الخرسانة ومنع تسرب المياه والأملاح اليها أدى إلى ضعف في تحملها مع الزمن وبالتالي صدأ صلب التسليح بها .

3 - تعرض الخرسانة لدورات من البلل والجفاف بفعل تأثير المناخ والبيئة البحرية أدى إلى ظهور شروخ الانكماش بالمبنى، وعدم صيانتها في حينها تسبب في تدهور الأسطح الخرسانية وتآكل صلب التسليح .

4 - التأخير في إجراء الصيانة الدورية للمبنى سبب رئيسي في تصدع المنشأ وتدهوره.

5 - القصور والضعف في أعمال الصيانة التي أجريت على المبنى (قصور في بنود المقايسة ومعالجة الظواهر الثانوية والتقليل من شأن الظواهر الخطرة - عدم الاهتمام بالمواصفات الفنية للمواد المستخدمة – ضعف الإشراف الفعال وعدم اتباع الأصول الفنية الصحيحة في عمليات التنفيذ) أدى إلى استمرار تدهور حالة المبنى .

سابعاً: التوصيات :

من خلال البحث والدراسة للنتائج يمكن سرد التوصيات التالية :

1 - إن معاينة المباني المتدهورة نتيجة تعرضها لرذاذ البحر والحكم على سلامتها والتوصية بإصلاحها أو إزالتها عملية حساسة – سيترتب عليها فقدانا للمبنى أو إنفاقاً كبيراً لإصلاحه – لذا يجب توخي الدقة وعدم التسرع في المعاينة وأن يتم اتخاذ القرار الفني الاقتصادي المناسب .

2 - الاهتمام بجودة تنفيذ الخرسانة من حيث التقيد بالشروط الفنية الخاصة بصناعة الخرسانة وكذلك المحافظة على سمك الغطاء الخرساني من أهم القضايا التي يجب التقيد بها أثناء التنفيذ والتي تساعد كثيراً في المحافظة على صلب التسليح وحمايته من مؤثرات البيئة البحرية وبالتالي إطالة عمر المنشأ .

3 - يوصى في منشآت البيئة البحرية حماية العناصر الإنشائية بالتكسيات الملائمة والمقاومة لهجوم الأملاح عند تنفيذ واجهات المباني .

4 - عند صيانة وإصلاح منشأت البيئة البحرية يجب إعداد دراسة إنشائية دقيقة وتحديد أسباب المشكلة وبالتالي خطوات العلاج اللازمة . حيث من غير المنطقي أن يتم إصلاح المشكلة والسبب الرئيسي لها موجود .

5 - الإهتمام بإجراء الصيانة الدورية على المنشأت في حينها .

الهوامش

1 – ابوالمجد ،شريف وآخرون، "تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها "، دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء ،الطبعة الثانية، 1993 ف،ص100 .

2 – Bijen, J ., ‹›Durability of Engineering Structures ‹›, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England, 2003 .

3 – المقيرحي ،عبد الله علي، " المبادئ الأساسية لهندسة التآكل "، منشورات جمعية التآكل الليبية، الطبعة الثانية ،2003 ف، ص213 .

4 - Neville, A. (1995) . ‹›Chloride Attack Of Reinforced Concrete : An Overviw, ‹› Materials and Structures, Vol.28.pp63 - 72

5– المقيرحي ،عبد الله علي، " المبادئ الأساسية لهندسة التآكل "، منشورات جمعية التآكل الليبية، الطبعة الثانية ،2003 ف، ص209 – 210 .

6– ابوالمجد ،شريف وآخرون، "تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها "، دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء ،الطبعة الثانية، 1993 ف، ص226 .

7 –Cabrera, J. G. (1996). ‹› Deterioration of Concrete Due to Reiforcement Steel Corrosion››,Cement Cocrete Composites, Vol.18,pp 47 - 59.

8– أبوالمجد ،شريف وآخرون، "تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها "، دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء ،الطبعة الثانية، 1993 ف، ص229 – 232.

9 – التقارير والمقايسات الفنية لمصلحة المباني التعليمية، " صيانة مبنى التعليم درنة "، مصلحة المباني التعليمية، درنة، ليبيا، 2007 ف

10 – Bs1881 : part 4 : 1970, ‹›Methods of Testing Concrete for Strength››, 1970.

11 – الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، " كودة تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة "، جامعة الدول العربية – مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، يوليو 2004، ص (8 - 19) – (8 – 27) .

12 – التقرير الفني لنقابة المهندسين بالشرقية، " الطرق العامة لإصلاح وتقوية العناصر الإنشائية "، اللجنة العلمية والثقافية، الشرقية، جمهورية مصر، 1992، ص 6 – 7 .

13– الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني، " كودة تصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة "، جامعة الدول العربية – مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب، يوليو 2004، ص (8 - 19) – (8 – 27) .

14 – الطويل، مصطفى محمد، " الصيانة الدورية للمنشآت والضرورة الملحة "، المؤتمر الوطني الثاني للمهندسين، بنغازي، الجزء الثاني، 23– 25/ 9 / 2003 ف، ص 152 .