مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

تصدع المنشآت البيتونية المسلحة القائمة في الساحل السوري وسبل حمايتها وتدعيمها

الدكتور منير الأطرش*
الدكتور علي تريكية**
سامر سليمان***

(ورد إلى المجلة في 1999/5/17، قبل للنشر في 1999/7/15)

☐ الملخّص ☐

لقد تمّ استخدام البيتون المسلح في منشآت الساحل السوري بشكل واسع في العقود الثلاثة الأخيرة من هذا القرن، وذلك بسبب المزايا العديدة التي تتمتع بها هذه المادة، حيث التركيبة بين البيتون والفولاذ هي تركيبة مثالية، ليس فقط من ناحية السلوك الميكانيكي وإنما أيضاً من وجهة نظر الديمومة؛ فالغطاء البيتوني يؤمن حاجز حماية كيميائياً وفيزيائياً للفولاذ من العوامل الجوية، ويبعد إمكانية حدوث صدأ فولاذ التسليح . لكن على الرغم من ذلك أصبح تصدع المنشآت البيتونية المسلحة في السنوات الأخيرة مشكلة يجب أخذها بعين الاعتبار. حيث كان يعتقد في الماضي أن المشكلة هي في البيتون نفسه. أما في الوقت الحاضر، فقد تبين أن مشكلة الديمومة الأكثر انتشاراً في ظروف الساحل السوري هي صدأ الفولاذ في البيتون، وهذا يعود إلى أن تركيز الكلوريدات (التي تعتبر العامل الرئيسي المسبب لصدأ فولاذ التسليح) في الأوساط الساحلية أعلى بكثير، مقارنة بالأوساط التي تصمم عليها المنشآت عموماً. وقد قمنا في هذا البحث، بإجراء دراسة إحصائية لـ(118) منشأ مختلفاً قائماً في الساحل السوري، بمساحات وارتفاعات مختلفة، وقد بنيت بين عامي (1929 و 1996). ثم قمنا باختيار عدد من المنشآت التي تعاني من أشكال مختلفة من العيوب في البيتون المسلح، والتركيز على دراستها لتشخيص الحالة، تمهيداً للحكم على سلامتها. أما الدراسة المخبرية، فتعالج تأثير المتغيرات التالية: نسب مختلفة لـ (w/c)؛ وهي 0.45 , 0.55 , 0.65 وعيارات البيتون 300 , 350 , 400 كغ/م^3، وأيضاً استخدام ثلاثة نماذج من الرمل . وقد تم اختبار أربعة وعشرين جائزاً بأبعاد (0.1 × 0.2 × 1.3) متر، مسلحة بتسليح متماثل في خلية تآكل كهروكيميائية. ثم قمنا باختبار الجوائز حتى الانهيار وتم تسجيل تأثير العوامل المختلفة على التشوه الإنشائي وحمولات وأنماط الانهيار.

* أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين اللاذقية – سورية.
** مدرس في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين اللاذقية – سورية.
*** طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (21) العدد (8) 1999
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (21) No (8) 1999

The Fracture of the Syrian Coast Structures and the Methods for Protection and Supporting

Dr. Mounir ALATRACH*
Dr. Ali TURIKIEH**
Samer SOULIMAN***

(Received 17/5/1999, Accepted 15/7/1999)

❐ ABSTRACT ❐

Reinforced concrete is a relatively new construction material in the Syrian Coast. This material has been applied extensively only in the past three decades. It has always been stated that the combination of concrete and reinforcing steel is an optimal one not only because of the mechanical performance but also from the point of view of long-term performance. Concrete is a durable material and the encasement of steel in it provides the steel with a protective environment and allows it to function effectively as reinforcement. Theoretically, this combination should be highly durable, as the concrete cover over the steel provides a chemical and physical-protection barrier to the steel, and can potentially eliminate steel corrosion problems. In spit of this, the fracture of concrete has become in the past years a considerable durability problem. Whereas in the past we were mainly concerned with the performance of the concrete itself, it seems that, at present, the most common and major durability problem in the Syrian coastal environment is the corrosion of the steel in concrete. The concentration of chloride (the major agent inducing corrosion of steel) is higher in the coastal areas compared with those for which the structure was originally designed. We carried out this research, which includes a statistical study to (118) construction, on different areas and in the heights in the Syrian Coast, which were built between 1929 and 1996. Then, we chose a number of constructions that suffered from various kinds of defects in its reinforced concrete and studied every one carefully to diagnose its status.. The laboratory study deals with the effects of different (w/c) ratios of 0.4, 0.5 and 0.6, with cement content of 300, 350 and 400 kg/m^3 and three types of sand. Twenty-four reinforced concrete rectangular beams of (0.2 × 0.1 × 1.3) m in dimension with identical steel reinforcement had been tested in a constructed electrical corrosion cell. The beams were tested up to failure and the influence of variable factors on the structural deformations, failure load, and modes of failure are reported.

* Associate Professor at Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
** Lecturer at Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
*** Master Student at Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

المقدمة :

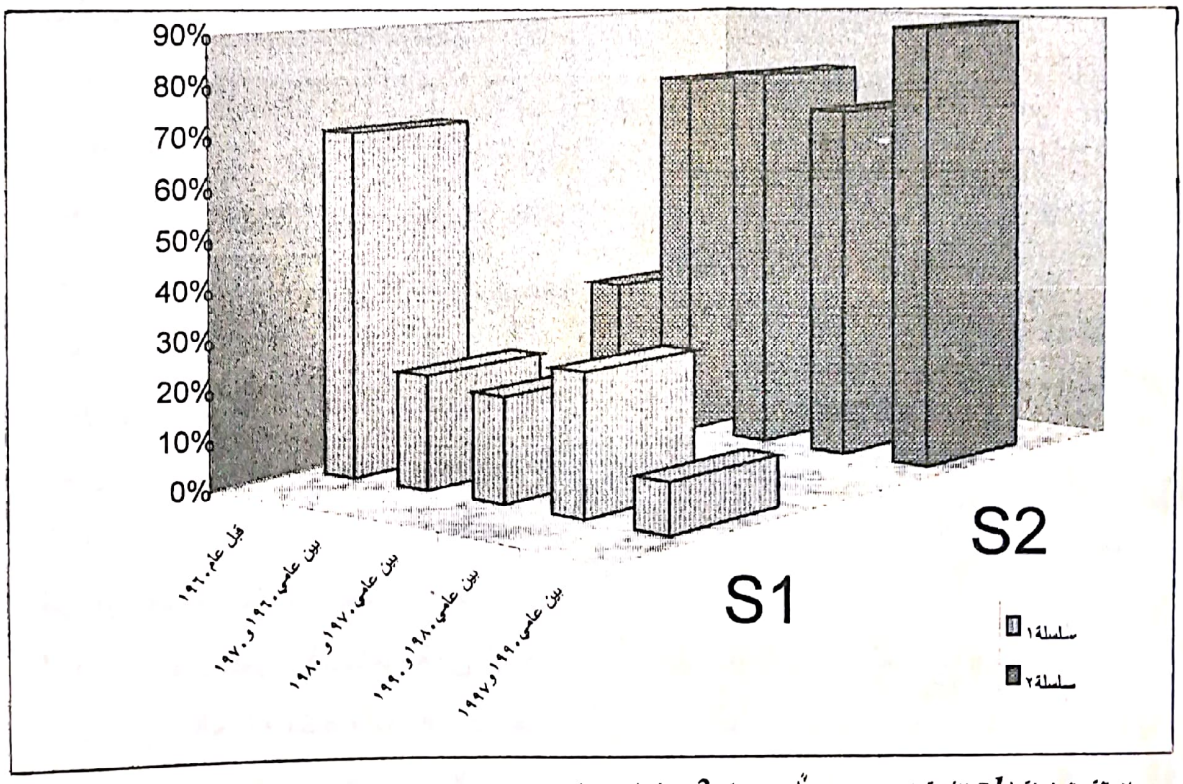
يعتبر البيتون المسلح المادة الأوسع استخداماً في الساحل السوري، و يعود ذلك إلى المزايا العديدة التي تتميز بها مادة البيتون المسلح، وخاصة المقاومة الجيدة لأحمال الضغط والديمومة وحماية فولاذ التسليح من التآكل، وعدم الحاجة إلى عمالة فنية عالية التدريب أثناء عملية التنفيذ. ولكن على الرغم من ذلك فإن مقاومتها الضعيفة للشد تجعلها تتشقق تحت تأثير أحمال صغيرة جداً، أو تحت تأثير أفعال غير مباشرة، مثل: ظاهرة الانكماش، أو التغيرات الحرارية المختلفة ... وإذا زاد عرض هذه الشقوق عن حد معين، فإن العوامل الخارجية الضارة تهاجم قضبان التسليح، وتؤدي إلى تآكلها، وهذه المشكلة هي المشكلة الأكثر انتشاراً في الساحل السوري، نظراً لكون هذه المنطقة خاضعة لظروف جوية سيئة، من حيث نسبة الرطوبة، ومحتوى الكلوريدات الموجودة في الوسط المحيط، مما يشكل وسطاً مهيأ لحدوث التآكل للمواد المستخدمة في البناء، ما لم تتوفر الحماية الكافية لهذه المواد وهذا يؤدي بدوره إلى تصدع المنشآت البيتونية المسلحة، والذي أصبح من المشاكل الخطيرة التي لابد من معالجتها، وإلا سيتزايد التدهور، وتسوء حالة المنشأ أكثر فأكثر، مما قد يؤدي إلى انهياره قبل نهاية العمر الاستثماري للمنشأ بكثير، وما قد ينجم عن ذلك من كوارث بشرية ومادية .

واحتوى هذا البحث على دراسة ميدانية لعدد من المنشآت القائمة في الساحل السوري، تشير إلى أن تآكل فولاذ التسليح في المنشآت البيتونية المسلحة هو المشكلة الأكثر انتشاراً في الساحل السوري، حيث تعتبر سبباً لحدوث معظم حالات التصدع في المنشآت البيتونية المسلحة، ونقص عمرها الافتراضي .

تقييم المنشآت وفق الدراسة الإحصائية :

الهدف من هذه الدراسة الإحصائية تحديد المشكلة الأكثر انتشاراً في الساحل السوري ومدى تأثيرها في منشآت هذه المنطقة، ففي المرحلة الأولى، قمنا بأخذ قطاعين مختلفين تماماً من قطاعات البناء في محافظة اللاذقية، وقد حاولنا أن تكون دراستنا شاملة لمعظم النماذج الموجودة ضمن هذين القطاعين، من حيث المتطلبات المعمارية والجمالية والقوة الإنشائية وعائدية المنشأ (خاص،عام)،وقد شملت الدراسة الأولية (118) منشأ بمساحات وارتفاعات مختلفة وذات جمل إنشائية متنوعة، وقد بدئ بإنشائها بين عامي (1929و1996)، والشكل (1) يمثل مخططاً بيانياً يدل على العلاقة بين النسبة المئوية للأبنية المعرضة للتضرر في

البيتون تبعاً لسنة الإنشاء، حيث يبين هذا الشكل أن أعلى نسبة لظهور أعراض التضرر في هذه المنشآت، هي في الأبنية المشيدة بين عامي 1980 و1990. أما في المرحلة الثانية، فقد تم أخذ الأبنية الحاوية على هذه العيوب من المجموعة السابقة، إضافة إلى مجموعة أخرى مكونة من حوالي الثلاثين منشأة، يعاني من أشكال مختلفة من التدهور في بيتونه المسلح، لتحديد حالة التدهور الأكثر انتشاراً، وكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (1)، حيث من الملاحظ أن الشقوق، وتساقط طبقة الغطاء البيتوني، لنتيجة صدأ فولاذ التسليح، هي الحالة الأكثر انتشاراً في الساحل السوري؛ لذلك قمنا بالتركيز على هذه الحالة، حيث اخترنا منشأتين واقعتين في مرفأ اللاذقية، بغية دراستهما بالتفصيل لتحديد درجة التضرر، وتشخيص الحالة بشكل دقيق والحكم على سلامتهما، ثم اختيار الحل الأمثل والأنسب للإصلاح، وإيجاد طرق من أجل حماية فولاذ التسليح لمنع المشكلة من الحدوث مستقبلاً.



ملاحظة: السلسلة (S1) للأبنية التي تحوي عيوباً والسلسلة (S2) للأبنية السليمة

الشكل (1) يمثل نسبة الأبنية التي تحوي عيوباً تبعاً للزمن لعينة مؤلفة من (118منشأة)

جدول (1) حالات التدهور المرصودة في الدراسة الإحصائية

نوع التضرر		عدد الحالات	ملاحظات
تشققات	نتيجة صدأ فولاذ التسليح	39	عبارة عن شقوق موازية لفولاذ التسليح
	فرق هبوط ومشاكل في تربة التأسيس	4	
	نتيجة أسباب أخرى	6	ناجمة عن أسباب متعددة ومتداخلة
تساقط طبقة التغطية البيتونية		31	حتى أعماق متفاوتة مع وجود صدأ في فولاذ التسليح
التبقيع والتمليح		1	بالإضافة إلى كونه مرافقاً لمعظم الحالات السابقة
التآكل السطحي		1	
تقوس الأعضاء المعرضة لانعطاف		1	بلاطة فطرية بمجاز 8 أمتار

طرق إنشاء المباني البيتونية المسلحة في الساحل السوري :

إن تنفيذ المباني البيتونية المسلحة المنتشرة بشكل واسع في الساحل السوري، ولاسيما المنفذة من البيتون المضبوب في الموقع، يعتمد على طرق إنشاء مختلفة، وتعتبر الجمل الهيكلية المكونة من أعمدة وجوائز هي الأكثر انتشاراً، ويتبعها البلاطات الفطرية والتنفيذ بالقوالب النفقية من حيث الانتشار. وسنستعرض في هذه الدراسة طرق إنشاء المباني البيتونية المسلحة التي اشتملت عليها الدراسة، والجمل الإنشائية لكل منها، بغية التعرف على واقع هذه المنشآت منذ لحظة البدء بالتنفيذ، والعيوب المرتبطة بنظم الإنشاء هذه، على الرغم من أن مشكلة التصدع غير مرتبطة بنظام الإنشاء، بقدر ارتباطها بمستوى التصميم و تفاصيله و مستوى التنفيذ و الرقابة على الجودة و الظروف البيئية المحيطة .

1- طرق الإنشاء باستخدام الجمل الهيكلية (الأعمدة و الجوائز) :

يعتبر هذا النظام من أكثر نظم الإنشاء انتشارا في الساحل السوري، حيث لوحظ أن نسبة 86% من المنشآت المدروسة تم إنشاؤها بهذه الطريقة؛ نظرا لكونها لا تحتاج إلى عمالة فنية عالية التدريب، ولا تحتاج أيضا إلى تجهيزات غالية الثمن، حيث يتم تركيب قوالب خشبية للأعضاء البيتونية، ثم يمد حديد التسليح فيها، و يتم خلط و صب البيتون بالموقع، أو باستخدام البيتون الجاهز المنقول إلى الورشة من مجابل مركزية بواسطة سيارات جبالة خاصة . وهنا نلاحظ مجموعة من العيوب المرتبطة بهذا النظام، نذكر منها :

- العيوب والتصدعات الناتجة عن عدم وجود فولاذ التسليح في مكانه، أو عدم كفاية الغطاء البيتوني، وهي ظاهرة كثيراً ما تلاحظ في منشآت الساحل السوري، وتكون سبباً لصدأ فولاذ التسليح و تساقط الغطاء البيتوني في مناطق متعددة، وهذا ناتج عن عدم الدقة في تركيب فولاذ التسليح في الموقع، ورفعه عن القالب بشكل جيد لتوفير الغطاء البيتوني وربطه وتثبيته جيداً حتى يبقى في موضعه، واستعمال الكراسي كي لا يسقط التسليح العلوي [1].
- العيوب الناتجة عن حركة أو هبوط القالب، و هبوط الخلطة البيتونية اللدنة الناتجة عن ضعف الخبرة، و غياب الإشراف الجيد على عملية تدعيم و تقوية القوالب الخشبية .
- غالباً ما يتم تحضير الخلطة البيتونية بالموقع بدون وجود رقابة فعالة على الجودة، مما يؤدي إلى شقوق انكماش وضعف مقاومة البيتون ونقص كثافته، نتيجة كون البيتون المخلوط ضعيفاً ويحوي نسبة عالية من الماء.
- العيوب الناتجة عن الانفصال الحبيبي والتعشيش، وخاصة في الطوابق العليا وأماكن الصب الضيقة نتيجة عدم استخدام الأساليب الصحيحة في النقل والصب والرج .
- ظهور شقوق انكماش ناتجة عن تعرض البيتون لدورات البلل و الجفاف

2- طرق الإنشاء باستخدام البلاطات الفطرية:

إن استخدام هذا النظام مازال محدوداً في الساحل السوري ويكاد يقتصر على المصانع التي تحتاج إلى ارتفاع صافٍ بدون سقوط كمرات، وفي الصالات الكبيرة التي تحتاج معمارياً إلى عدم وجود سقوط في البلاطة . وسنعالج حالة هذا النظام من خلال استعراض حالة مبنى موجود في محافظة طرطوس مؤلف من قبو مستخدم كمستودع لتخزين البضائع،وطابق أرضي مستخدم كمركز صيانة، وطابق أول مستخدم كمستودعات،ونصاصي يستخدم كمكاتب إدارة ومستودعات، وطابق ثان مستخدم كفندق سياحي. وقد تم اعتماد نظام البلاطة الفطرية بأبعاد (0.3x8x8) متر وبمساحة طابقية 3000 متر مربع، حيث تم ملاحظة العيوب التالية :

1- وجود تشققات في معظم السقوف حول الأعمدة بشكل قطري، خصوصاً في الأعمدة الطرفية والركنية، وفي طرف البلاطة من جهة بيت الدرج.
2- سهم واضح في معظم البلاطات حوالي (1.5سم) يصل إلى (3سم) في سقف الطابق الأول.

ولدى التحليل الأولي لأسباب هذه العيوب تم ملاحظة النقاط التالية :

1- لقد تم وضع القوالب بصورة أفقية تماماً عند التنفيذ، وبالتالي ظهرت انحناءات وسهوم بمقدار (1.5-2) سم، والتي كان من الممكن تلافيها لو تم التنفيذ وفق الشروط الفنية، ولاسيما أن المادة (13-1-2-هـ) من الكود العربي السوري [2] تنص على ما يلي : " يجب تحديب قوالب بطينات الكمرات التي بحرها 8 أمتار أو أكثر بمقدار (1/300–1/500) من قيمة البحر". وهذا ينطبق على أبعاد المشروع، والذي يعني ضرورة تحديب القالب الخشبي بمقدار (1.6-2.6) سم، تلافياً لظهور هذه الانحناءات والسهوم بعد فك القالب.

2- التنفيذ المخالف للمخططات، حيث لم يتم تنفيذ جائز طرفي مقلوب، علماً بأن هذا الجائز يؤمن الارتباط بين البلاطة والأعمدة.

3- تم تزويد المشروع بالمجبول البيتوني من مجبل يبعد حوالي 20 كم، وقد تم النقل بواسطة سيارات خاصة حيث تم الصب بواسطة مضخة، وقد بلغت المدة بين بداية الجبل ونهاية الصب لكل سيارة أكثر من ساعة في بعض الأحيان (حسب الطريق ووضع الصب في الورشة)؛ لذلك يلجأ العاملون إلى زيادة كمية الماء في المجبول البيتوني لتأخير زمن تصلب البيتون، وهذا مخالف للشروط الفنية العامة[2]

3- طرق الإنشاء باستخدام القوالب النفقية:

يعتبر هذا النظام من النظم الحديثة للمنشآت المصبوبة في الموقع، حيث تم اعتماد هذا النظام في عدد من المشاريع التي تنفذها إحدى مؤسسات البناء الكبرى في القطر. وقد استخدمت قوالب (أنفاق) معدنية لصب الحوائط والأسقف كقطعة واحدة متكاملة، إلا أن هذه الحوائط البيتونية لا تتلاءم مع الأجواء الحارة، إضافة إلى وجود نوعين من التشققات المرتبطة بهذا النوع من المنشآت، وهما:

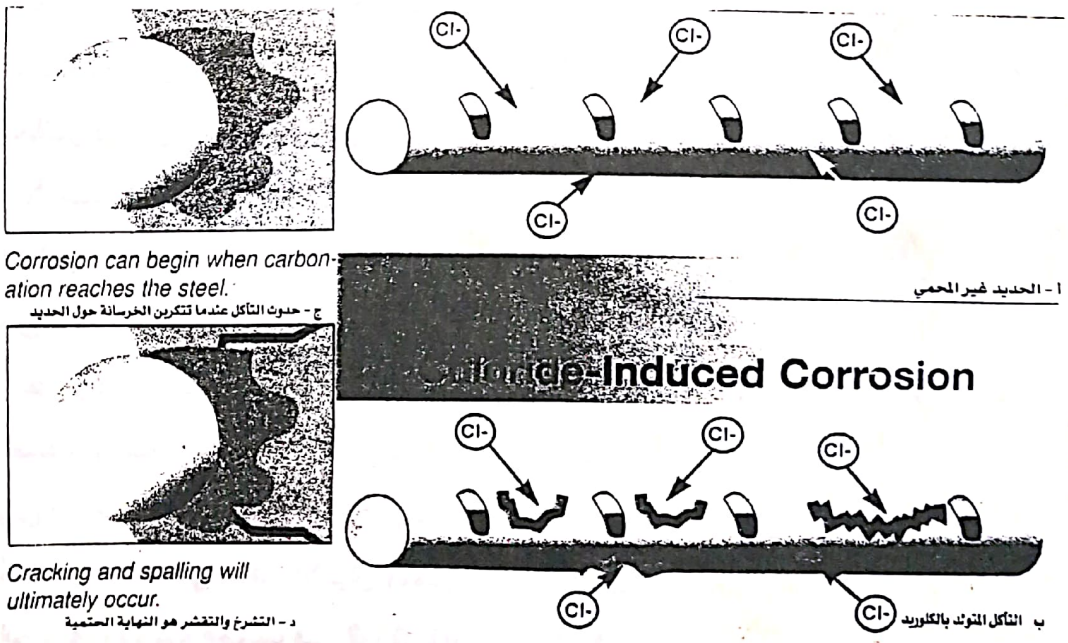
a- شقوق الانكماش عند الجفاف:وتحدث نتيجة وجود قيد على الحركة لاتصال البلاطة بالحوائط.

b- شقوق التمدد والتقلص الحراري نتيجة تأثير اختلاف درجات الحرارة الداخلية والخارجية في الحوائط .

الأسباب العامة لتآكل فولاذ التسليح في المنشآت البيتونية المسلحة:

على الرغم من أن الرطوبة والأكسجين يعتبران وقود عملية الصدأ إلا إن الصدأ لا يمكن أن يحدث إلا إذا فقدت الحماية التي يوفرها البيتون للأسياخ، وهذه الحماية يمكن أن تفقد نتيجة أسباب عدة،

مثل: زيادة نسبة الكلوريدات والتحول الكربوني لطبقة البيتون الخارجية، أو حدوث تشققات نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ؛ مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ، ويبدأ الصدأ، وخطورة صدأ الفولاذ أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور أعراض؛ وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الفولاذ بطيء، وتكمن خطورته في أنه طالما بدأ فسيستمر، حتى لو أزيل مصدر الرطوبة ما لم يزل الحديد الصدئ والبيتون المعيب ويستبدل ببيتون سليم. وصدأ الفولاذ نتيجة زيادة نسبة الكلوريدات أخطر وأصعب في إصلاحه من التحول الكربوني؛ لأنه في هذه الحالة لا توجد وسيلة فعالة إلا إزالة البيتون المعيب تماماً من حول أسياخ التسليح، والكلوريدات التي تتغلغل من الخارج أشد فاعلية في التأثير على فولاذ التسليح من الكلوريدات الموجودة داخل الخلطة، و يمكن القول أن أيونات الكلوريدات قادرة على تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح فولاذ التسليح، والتي توفر الحماية السلبية، حتى وإن كانت قاعدية بيتون مازالت عالية، ولم يحدث لها تحول كربوني، أما في حالة حدوث تحول كربوني فإن قيماً أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للفولاذ، وسيصبح معدل الصدأ أسرع [3] كما هو موضح في الشكل(2).



الشكل (2) يبين تأثير تغلغل الكلوريدات

والملاحظ أنه في الفترة الأخيرة تم تقليل القيم المسموح بها في المواصفات العالمية، والخاصة بنسبة تركيز الكلوريدات في البيتون، فقد حددت المواصفات الأميركية [4] درجة تركيز شوارد الكلوريدات في البيتون المسلح في جو رطب ومعرض للكلوريدات بالنسبة التالية (0.15%) من وزن الأسمنت.أما حدود درجة تركيز الكلوريدات في المواصفات البريطانية[5] فهي على الشكل التالي:

- (0.4%) من وزن الأسمنت العادي والسريع التصلب .
- (0.2%)من وزن الأسمنت المقاوم للكبريتات
- (0.1%) من وزن الأسمنت في البيتون مسبق الاجهاد

أما بالنسبة للمواصفات الأوروبية لسنة 1992 (ENV 206) [6]، فتحدد المحتوى الأعظمي لمحتوى شوارد الكلوريدات بالقيم التالية : 1% و 0.4% و 0.2% من وزن الأسمنت من أجل البيتون العادي، والمسلح، ومسبق الإجهاد على التوالي .

التأثير التخريبي للوسط البحري :

يتجلى هذا التأثير في تخريب الحماية السلبية لفولاذ التسليح التي تؤمنها قاعدية البيتون، يظهر التآكل على االبيتون بتأثير الأملاح والأحماض والكبريتات والنترات والكرومات والدهون والزيوت الحيوانية والنباتية، التي تفكك البيتون بوجود الهواء والضوء. ويؤدي الماء دوراً هاماً في عملية التآكل، ويتعلق تأثير الماء بمحتوى الأملاح أو الغازات المنحلة والـ(pH)، غير أن تآكل المعادن أسرع من تآكل البيتون .

إن مياه البحار تحوي حوالي (3.4 - 3.5)% أملاحاً، ومياه البحر المتوسط تحوي (3.9-4.1)% أملاحاً، ويبين الجدول(2) التركيب المئوي للأملاح البحرية .

جدول (2) التركيب المئوي للأملاح البحرية [7]

المحتوى	NaCl	$MgCl_2$	$MgSO_4$	$CaSO_4$	K_2SO_4	CO_2
النسبة المئوية %	75-80	10-11	4 -5	3-3.5	0.2-2.5	0.2-0.3

ويمكن أن تحوي مياه البحر نتيجة العمليات الحيوية نسبا أقل من $NO3$,$P2O$ $CO2$, $N2O3$,$NH3$,، وتتراوح قيمة الـ(PH) بين (8-8.3)، وتكون القيمة أكبر في المناطق الغنية بالنباتات البحرية، وقيمة أقل في المناطق الغنية بالحيوانات . ويبين الجدول (3) خواص مياه البحر في ميناء اللاذقية، والجدول(4) يبين درجة حرارة المياه الوسطية وملوحتها خلال العام.

جدول (3) خواص مياه البحر المتوسط في ميناء اللاذقية على السطح لمسافة 1300m من المكسر [7]

الشوارد السالبة	التركيز		
	g/l	m mol/l	%
Cl^-	27.2080	767.27	92
$SO4^-$	3.1307	65.19	7.81
$HCO3^-$	0.0980	1.61	0.19
مجموع الشوارد السالبة	30.4367	834.07	100.00
قيمة الـ(pH) تساوي إلى 7.2			

الشوارد الموجبة	التركيز		
	g/l	m mol/l	%
$Na^- + k^+$	15.970	689.01	82.61
$Ca2^+$	0.5110	25.50	3.06
$Mg2^+$	1.450	119.56	14.33
$Fe2^+$	0.0	0.0	0.0
مجموعة الشوارد الموجبة	17.8120	834.07	100

جدول(4) درجة حرارة المياه الوسطية وملوحتها خلال العام [7]

الميزة	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول
الحرارة الوسطية	16.7	16.1	16.9	19.2	21.4	25.4	27.5	28.1	28.1
الملوحة الوسطية S‰	38.7	38.7	38.9	39.9	39.9	40.0	39.8	39.9	40.3

الدراسة العملية والحقلية:

قمنا بإجراء دراسة عملية لعدد من المنشآت القائمة في الساحل السوري، لإظهار مدى تأثير الظروف الجوية في المنطقة الساحلية، والمحيطة بهذه المنشآت، على مقاومة وديمومة هذه المنشآت، لذلك قمنا بإجراء التجارب غير المتلفة، والتي تساعدنا على تشخيص حالة هذه المنشآت، ولاسيما تحديد الصلابة السطحية، باستخدام المطرقة المرتدة، وتحديد سرعة اختراق الأمواج فوق الصوتية لبيتون هذه المنشآت باستخدام جهاز قياس سرعة الأمواج فوق الصوتية. ومن بين المنشآت التي أجرينا عليها الدراسة :

1- خزانات الغلال في مرفأ اللاذقية :

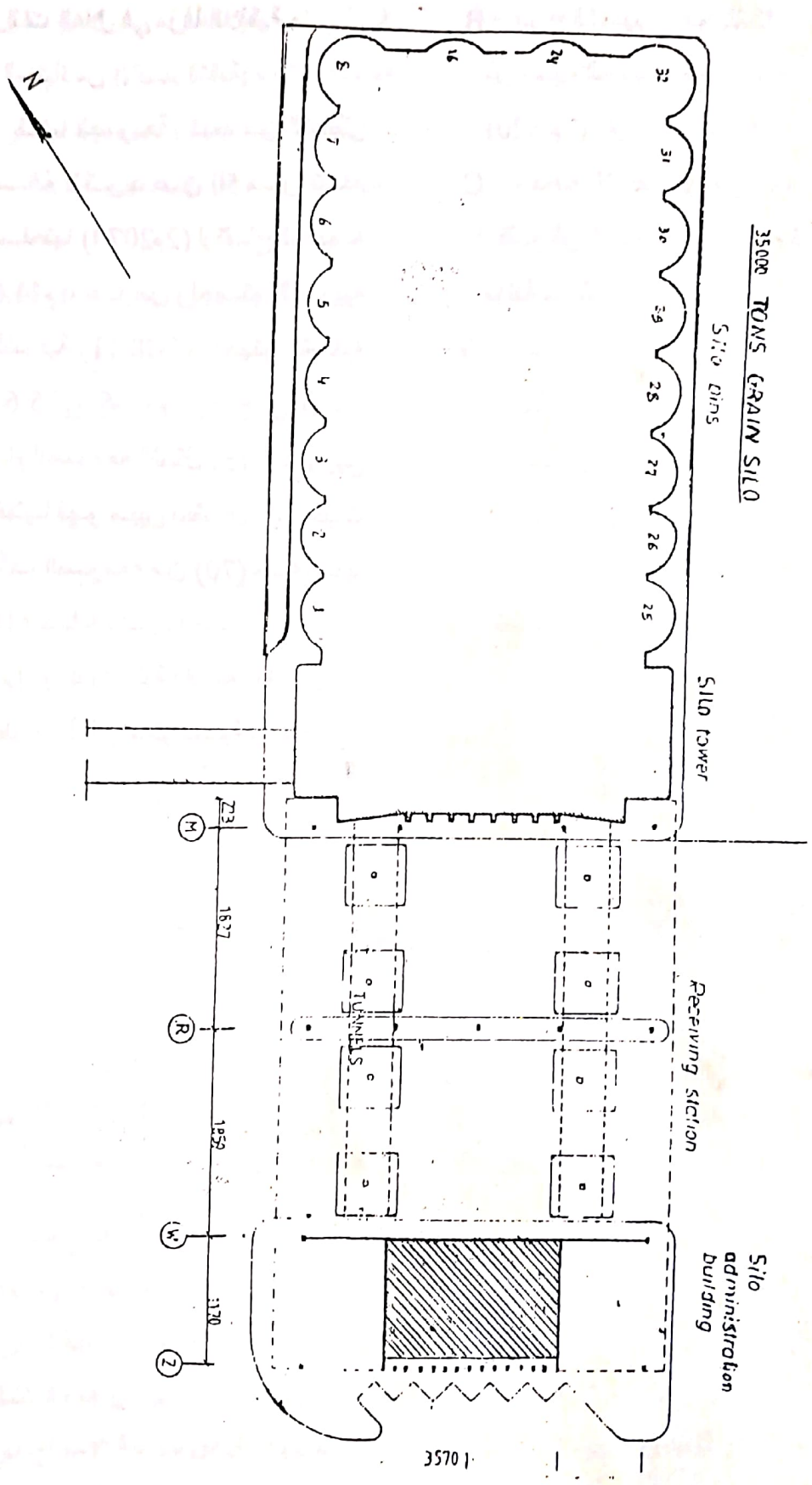
تتألف المنشآة من الأقسام التالية:

A. **خلايا الصومعة** : تبعد عن الشاطئ مسافة لا تزيد عن 50 متراً تبلغ مساحتها (2070م2) ارتفاع الواجهة (44.6م)، عرض واجهتها الغربية والشرقية (58.11م) وواجهتها الشمالية (35.64م)، كما هو موضح في المسقط العام للصومعة الشكل (3). أما توزيع الخلايا فهو مبين بالشكل (4)، حيث تتألف الصومعة من (70) خلية، منها (18) خلية دائرية محيطية بقطر (7م)، و(14) خلية دائرية داخلية بنفس القطر، والباقي خلايا نجمية داخلية .

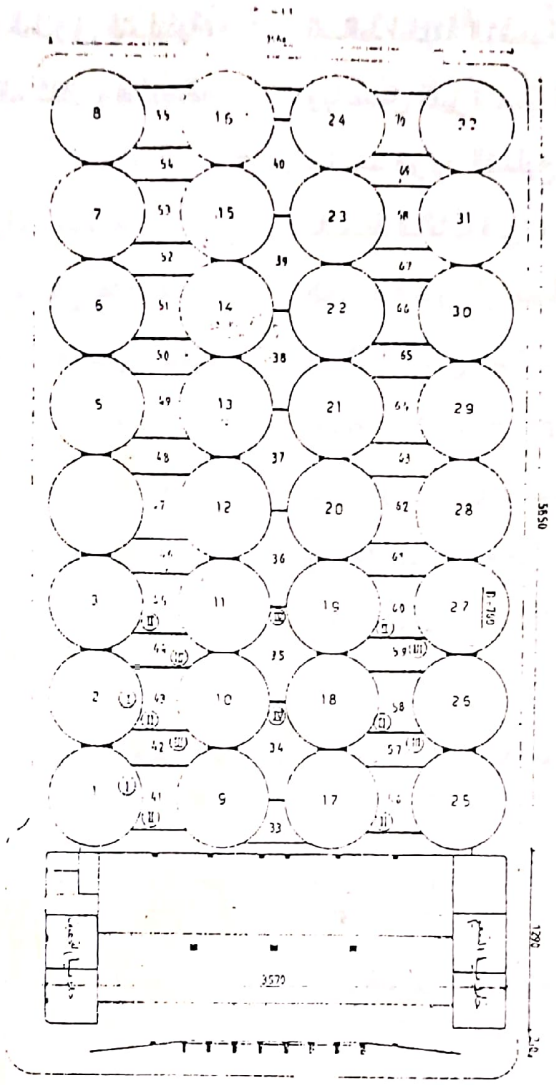
B. برج التخديم : وهو يتصل بالخلايا من الجهة الجنوبية،تبلغ مساحته الطابقية (520 م2) وارتفاعه (55.9 م)

C. محطة الاستقبال والتفريغ، الأرضي : تقع إلى الجنوب من برج التخديم مؤلفة من ثمانية أقماع ونفقين .

D. المبنى الإداري: يقع إلى الجنوب من محطة الاستقبال والتفريغ وهو مؤلف من طابقين بمساحة (250 $م^2$)، طبيعة الاستخدام التي أخذت في الاعتبار عند تصميم خلايا الصومعة:طاقة التخزين القصوى (35000 طناً) بواقع سرعة تفريغ (200 طناً/ساعة).



الشكل (3) مسقط عام للصومعة



الشكل (4) مسقط خلايا التخزين وبرج التشغيل

الأضرار التي تعرضت لها المنشأة:

إن تأثير المناخ البحري أدى إلى تفاعلات كيماوية داخل البيتون، مما أدى إلى هبوط درجة الـpH، وفقدان قاعدية البيتون، وبالتالي إلى انهيار طبقة الحماية السلبية، إضافة إلى تصدع الطبقة الخارجية للبيتون (طبقة التغطية)، مما أدى إلى صدأ فولاذ التسليح، حيث وصلت نسبة الصدأ في بعض الأماكن إلى حوالي (10%)، أما التسليح الداخلي فلا يزال وضعه سليما .وقد اتخذت إدارة المرفأ الإجراءات الوقائية التالية :

1- استبعاد أعمال التخزين في الخلايا النجمية الوسطية.

2- استبعاد أعمال التخزين في خلايا التعقيم من برج التشغيل.

3- يمكن تخزين الذرة في الخلايا الدائرية فقط، وبارتفاع عشرة أمتار فوق منسوب القمح؛ أي حتى منسوب +19م .

ومن الملاحظ هنا أن الطاقة التخزينية للسيلو قد خفضت بدرجة كبيرة، وقد تم ترميم

بعض الخلايا باستخدام الطرق التقليدية، حيث تم نزع البيتون المتآكل واستبداله ببيتون سليم.

وقد قمنا بإجراء مجموعة من التجارب الحقلية، وسنعرض في هذه المقالة نتائج الاختبارات التي أجريناها على الخلية (1)، حيث تقع هذه الخلية في الجهة الغربية من السيلو (المواجهة للبحر). ويلاحظ تضرر البيتون على مساحات واسعة وفي أماكن مختلفة من الواجهة، حيث حصل تساقط لطبقة التغطية على مساحات كبيرة، وبأعماق كبيرة تصل في بعض المناطق إلى ما بعد فولاذ التسليح بحوالي 1.5 سم، كما يلاحظ انثقاب في أسفل الجدار في الجهة الجنوبية من الواجهة، وصدأ ملحوظ في فولاذ التسليح حيث بلغ النقصان في أقطار بعض الأسياخ (3mm) تقريباً، ويبين الشكلان (5، 6) أماكن وأشكال التضرر. وقد كانت نتائج قراءات المطرقة المرتدة وفق الجدولين (5، 6):

الجدول (5) قراءات المطرقة في النقطة A الواقعة في منطقة سليمة

رقم الاختبار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	متوسط الارتداد
قيمة الارتداد	32	30	28	31	30	29	30	35	34	30	30	36	34	34	35	31.9

الجدول (6) قراءات المطرقة في النقطة B الواقعة في منطقة متضررة

رقم الاختبار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	متوسط الارتداد
قيمة الارتداد	23	23	28	30	31	28	27	23	28	26	30	21	20	25	28	26

متوسط الارتداد عند النقطة A : 31.9 والقيمة المقابلة على منحنيات المطرقة (26.2 ميغاباسكال)

متوسط الارتداد عند النقطة B : 26 والقيمة المقابلة على منحنيات المطرقة (17.4 ميغاباسكال)

إلا أن القيمة التي حصلنا عليها بالأمواج فوق الصوتية أعطت قيماً متفاوتة جداً لسرعة اختراق الموجة، حيث كانت: عند النقطة A 3571 متراً/ثانية، وهذا يشير إلى أن مقاومة البيتون جيدة (ضمن المجال 3500 إلى 4500 تكون المقاومة جيدة).

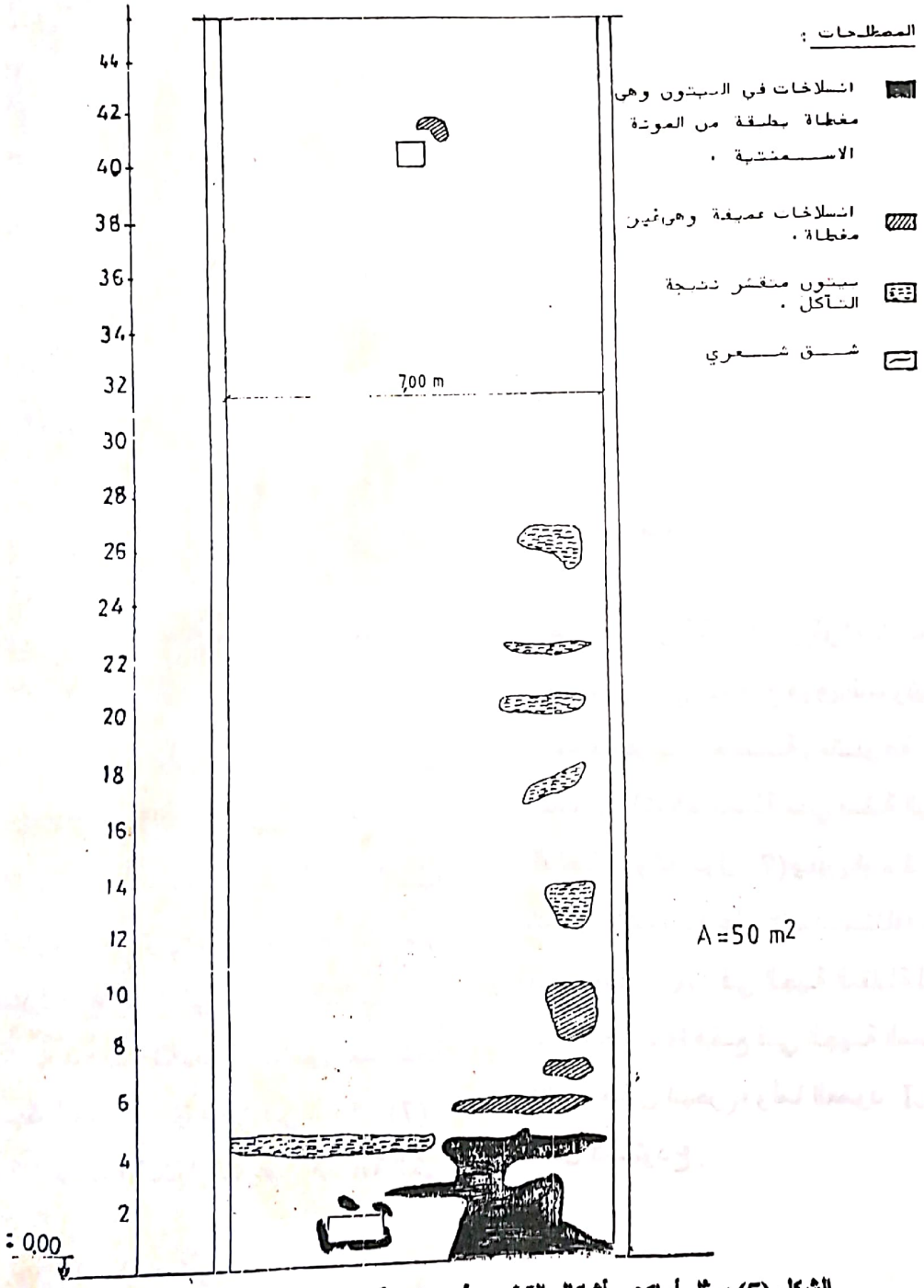
أما عند النقطة B فكانت 2941 متراً/ثانية، وهذا يشير إلى أن مقاومة البيتون سيئة (ضمن المجال 2000 إلى 3000 تكون المقاومة سيئة) [8].

وبتطبيق العلاقة الواردة في النشرة الفنية الملحقة بجهاز الأمواج فوق الصوتية، والتي تربط ما بين قراءات المطرقة وسرعة الأمواج:

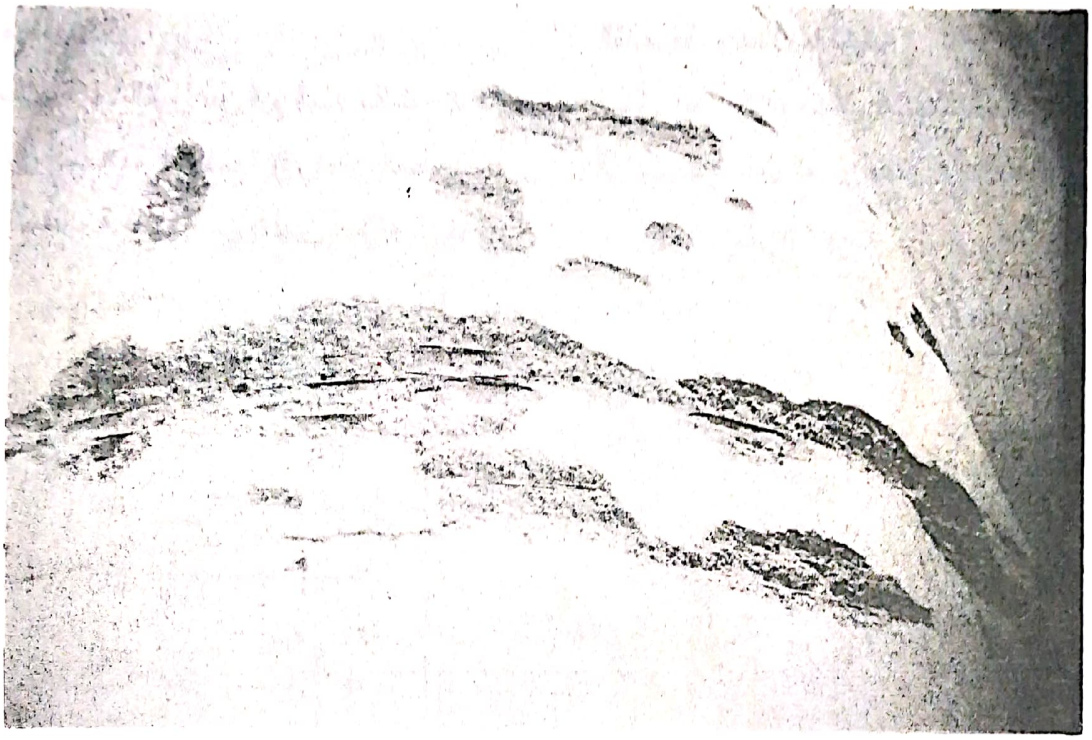
$$\log \sigma\omega = 0.01149R + 0.0003794V + 0.4332$$

نحصل على قيمة المقاومة :عند النقطة A : 14.3 ميغاباسكال، وعند النقطة B :7.1 ميغاباسكال.

نلاحظ هنا الفرق بين قيم المقاومة المستنتجة من الصلابة السطحية (قراءات المطرقة)، والمقاومة الناتجة من تطبيق علاقة المطرقة والأمواج. هذا يدل على التخريب الحاصل في بنية البيتون الداخلية وانتشار الشقوق الشعرية، وهذا ما أكدته قراءات الأمواج فوق الصوتية، حيث كانت تعطي عدة قراءات في نفس المكان وللقياس الواحد .



الشكل (5) يمثل أماكن وأشكال التضرر في واجهة إحدى خلايا السيلو



الشكل (6) صورة للأضرار في الصومعة

2- الدراسة العملية لمستودع المحروقات في ميناء اللاذقية :

تتجلى الأضرار التي تعرض لها مستودع المحروقات بتشققات في طبقة التغطية، مع انسلاخات متفرقة على السطح الخارجي للبيتون في الأعمدة والجوائز الطرفية، إضافة إلى صدأ فولاذ التسليح بنسب مختلفة تحت المناطق المنسلخة والمتشققة، كما هو مبين في الشكل (7) . وقد أعطت الاختبارات غير المتلفة التي أجريناها تفاوتاً كبيراً بين قراءات المطرقة المرتدة ونتائج الأمواج فوق الصوتية التي أعطت قيماً منخفضة ومتنوعة نتيجة للتضررات الحاصلة في بنية البيتون الداخلية. والجدول (7) يبين قيم قراءات المطرقة المرتدة على أعمدة مختلفة، حيث يقع العمود A في الجهة المقابلة للبحر، أما العمود B فيقع في الجهة المعاكسة (البعيدة عن البحر)، وأما العمود CI فيقع داخل المستودع .

الجدول (7) يبين قيم قراءات المطرقة المرتدة على أعمدة مستودع المحروقات

رقم الاختبار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	متوسط الارتداد
قيم الارتداد للعمود A	17	17	18	21	17	19	22	20	18	22	20	19	21	20	20	19.4
قيمة المقاومة اعتماداً على قراءات المطرقة 10 ميغاباسكال																
قيم الارتداد للعمود B	39	37	32	33	36	34	32	36	33	33	32	36	32	35	35	34.2
قيمة المقاومة اعتماداً على قراءات المطرقة 31.1 ميغاباسكال																
قيم الارتداد للعمود CI	34	36	35	33	37	35	34	35	33	37	39	37	36	35	37	34.9
قيمة المقاومة اعتماداً على قراءات المطرقة 31.8 ميغاباسكال																

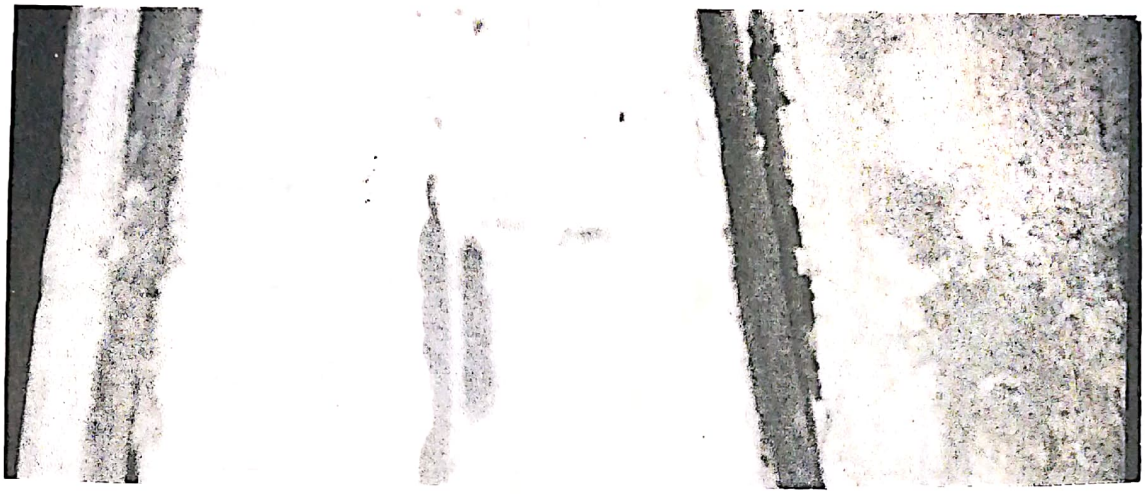
وكانت سرعة الأمواج فوق الصوتية على الشكل التالي :

في العمود A : 2700 متراً/ثانية (أصغر من 3000 متر/ ثانية يكون البيتون سيئاً)

في العمودB : 3950 متراً/ثانية (بين 3500 و 4500 متر /ثانية يكون البيتون جيداً)

في العمود C : 4040 متراً/ثانية (بين 3500 و 4500 متر /ثانية يكون البيتون جيداً) [8]

ويلاحظ بوضوح من الجدول السابق، أن قيم الصلابة السطحية التي تعطيها المطرقة المرتدة للعمود A أقل بكثير من قيم العمودين B و C، وهذا يبرز التأثير التخريبي الواضح لعملية تغلغل الكلوريدات



الشكل (7) يبين التضرر، والصدأ الناتج، وتساقط طبقة الغطاء البيتوني

البرنامج التجريبي المخبري :

الهدف من البرنامج التجريبي المخبري هو دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة تحت تأثير عملية تغلغل الكلوريدات،حيث تم تعريض قسم من هذه الجوائز لعملية تغلغل الكلوريدات على فترتين منفصلتين؛ وذلك باستخدام خلية غلفانية، ومن ثم دراسة تأثير ذلك في كل من الصلابة السطحية، والكثافة، والجودة لبيتون هذه الجوائز، ومن ثم دراسة سلوك الجوائز المخربة نتيجة التغلغل، ومقارنته بسلوك الجوائز غير المخربة تحت تأثير قوتين مركزتين متزايدتين بشكل بطيء حتى الانهيار .

متغيرات التجريب :

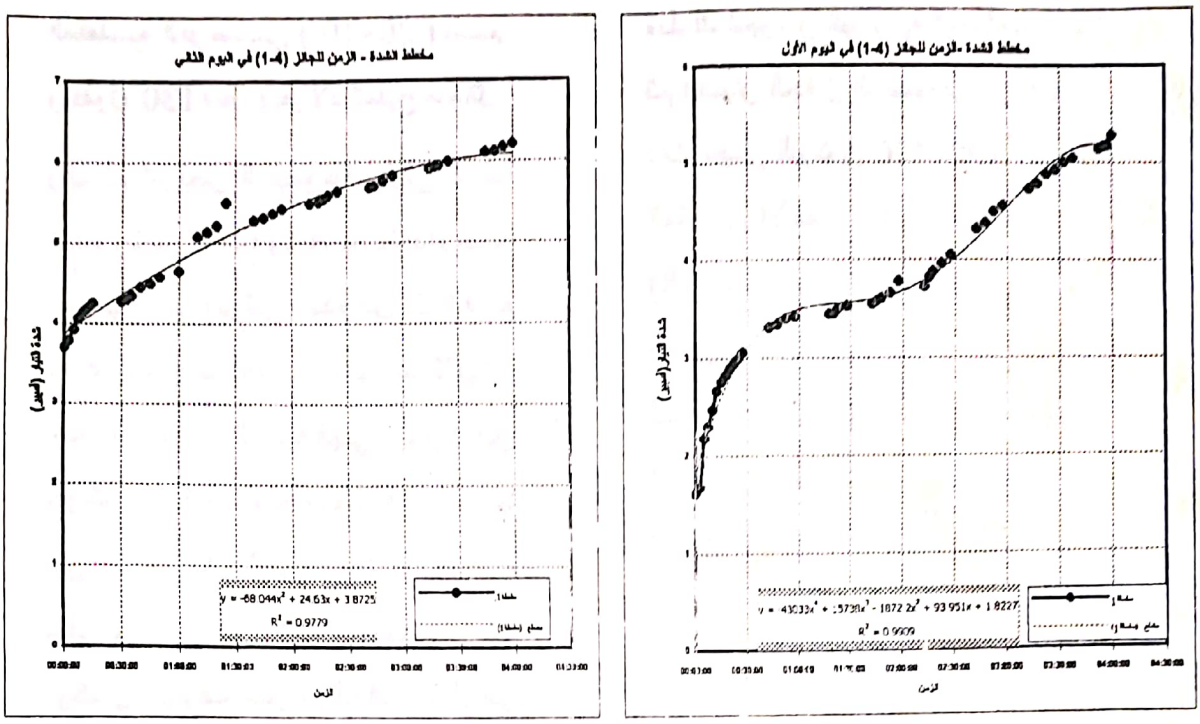
- نسبة الماء إلى الأسمنت : حيث تم تصميم خلطات بالنسب التالية (0.45 و0.55 و0.65)
- عيار البيتون : حيث تم تصميم بيتون بمحتوى أسمنت (300 و 350 و 400)كغ/م^3
- نوعية الرمل : حيث تم استخدام ثلاثة أنواع من الرمل، والتي لوحظ استخدامها في منشآت الساحل السوري بشكل واسع؛ أي (الرمل النبكي، والرمل البحري، ورمل النحاتة).

تم إجراء التجارب على جوائز بيتونية مسلحة متماثلة فيما بينها، من حيث أبعاد

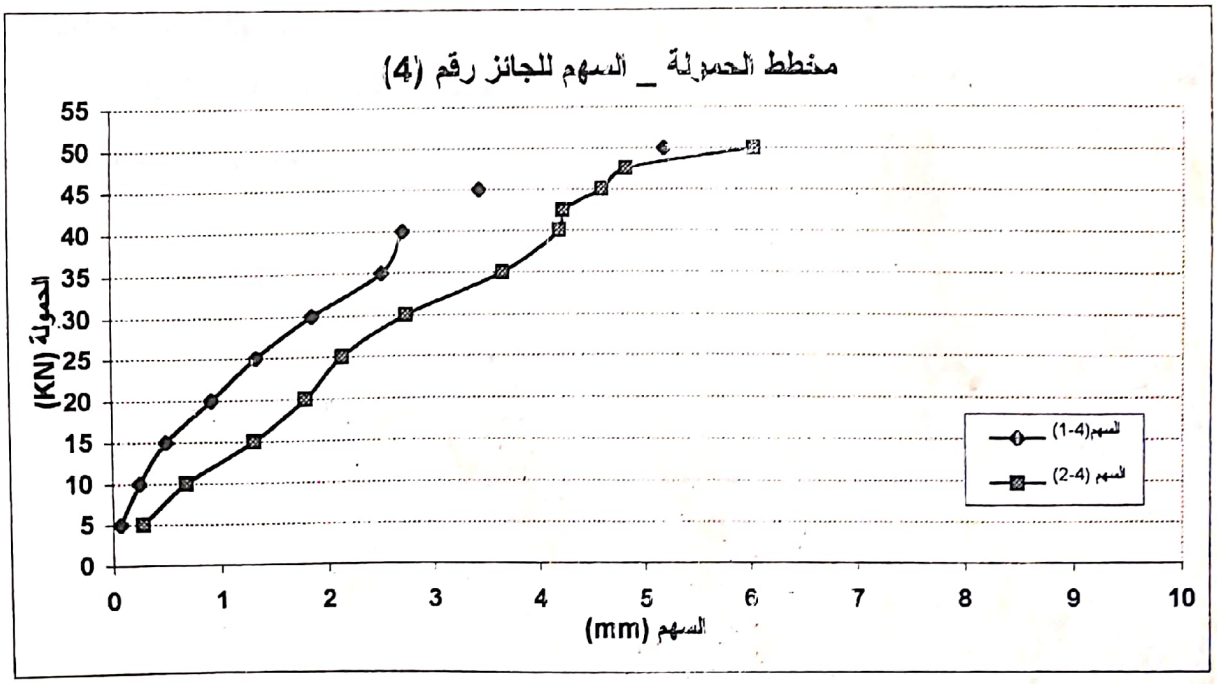
المقطع العرضي (10×20) سم، وبطول 130 سم، وبفولاذ تسليح متماثل

وقد تم تعريض المجموعة الأولى لعملية تغلغل كلوريدات؛ وذلك باستخدام خلية غلفانية على فترتين، مدة كل فترة أربع ساعات متواصلة، في يومين متتاليين . أما المجموعة الثانية فهي عبارة عن جوائز بيتونية مسلحة مماثلة لنظيراتها في المجموعة الأولى، حيث تتم دراسة سلوكها بدون تعريضها لعملية التخريب .وكان الهدف من ذلك التوصل إلى اقتراح مكونات الخلطة الأكثر انسجاما مع ظروف الساحل السوري، بحيث تضمن عملية حماية فعالة للمنشآت من عملية تغلغل الكلوريدات .

والشكلان (8، 9) يعطيان مثالا على تأثير عملية تغلغل الكلوريدات في سلوك الجوائز البيتونية المسلحة، حيث تم اختيار الجائز المصبوب من الخلطة ذات عيار البيتون 400 كغ/م^3، ونسبة الماء إلى الأسمنت (w/c=0.4)، فالشكل (8) يعطي مخطط شدة التيار المار ضمن الخلطة البيتونية تبعاً للزمن حيث تتناسب شدة التيار مع كثافة شوارد الكلوريدات المتغلغلة إلى الخلطة، والتي تمت على مرحلتين في يومين متتاليين،وكل مرحلة استمرت مدة أربع ساعات . أما الشكل (9) فيعطي مخطط الحمولة – السهم لهذا الجائز تحت تأثير مراحل تحميل مختلفة حتى الانهيار، حيث من الواضح تأثير صدأ الفولاذ، نتيجة عملية تغلغل الكلوريدات، في سلوك هذا الجائز خلال مراحل التحميل المختلفة .



الشكل(8) منحنيات الشدة - الزمن لمجموعة الجوائز (B4)



الجائز (4-1) سليم
الجائز (4-2) معرض لعملية التخريب في الخلية الكهروكيماوية

الشكل(9) مخطط الحمولة - السهم للجائزين (B4-1) و (B4-2)

النتائج والتوصيات :

يمكننا القول إن معظم هذه المشاكل لا تشكل خطراً مباشراً على أمان وسلامة المنشآت، ولا تؤدي في غالبيتها إلى حدوث انهيارات مفاجئة، إلا أن إهمالها يؤدي إلى تفاقمها، مما يسيء إلى أمان تلك المنشآت لاحقاً، وكذلك إلى زيادة كبيرة في نفقات الصيانة والإصلاح، لذلك لا بد من مراعاة النقاط التالية عند تنفيذ المنشآت في مثل هذه الظروف :

1. تأمين طبقة غطاء بيتوني كافية وجيدة وخالية من العيوب، وخاصة التشققات الصغيرة والسرطانية التي لا تشكل خطراً في حد ذاتها، إنما تسهل عملية تغلغل الكلوريدات والمواد المخربة الأخرى.
2. اتخاذ إجراءات الحماية الكافية، والتقيد بالشروط الفنية للتنفيذ الصحيح، واستخدام احضارات نظيفة وخالية من الكلوريدات .
3. تحديد حدود عليا مسموح بها لتواجد الكلوريدات في الخلطات البيتونية أسوة بمعظم الكودات العالمية .
4. التركيز على مسألة كتامة البيتون، وتخفيض قيمة نسبة الماء إلى الأسمنت قدر الإمكان .
5. الدراسة العلمية لمشاكل التصدع، وعدم اعتماد الحلول الاعتباطية، وضرورة القيام بأعمال الإصلاح والتدعيم من قبل متخصصين .
6. الصيانة الدورية للمنشآت والإصلاح قبل استفحال الضرر.

REFERENCES المراجع

1- **الأطرش،منير**، "تصدع المنشآت البيتونية المسلحة أمثلة واقعية "،ندوة العيوب التنفيذية للمنشآت البيتونية المسلحة وطرائق معالجتها وإصلاحها " جامعة البعث،نيسان،1998

2- **نقابة المهندسين السوريين**، "الكود السوري لتنفيذ المنشآت البيتونية المسلحة "،دمشق، 1990

3- **أبو المجد،شريف؛كمال منير ، سلامة عمرو، الإبياري شادية** ، "تصدع المنشآت البيتونية وطرق إصلاحها" . دار النشر للجامعات المصرية - مكتبة الوفاء،مصر،1993

4- American Concrete Institution ***ACI 318-90*** : "Building Code requirements for reinforced concrete" *ACI committee* , Detroit ,USA ,1990

5- British Standards Institution ***Bs 8110*** : "The structural Use of Concrete" BSI, London ,1982

6- European pre-standard ***ENV 206*** , Concrete – Performance , Production ,Placing and Compliance Criteria , 1992

7- **أصلان،طارق**، "تآكل البيتون المسلح في البيئة البحرية وطرق حمايته "،ندوة نقابة المهندسين فرع طرطوس،1996

8-**عبود،أحمد ؛ ججاح،غاندي** ، " منشآت البيتون المسلح - 1 - " . مطبوعات جامعة تشرين .1994