



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والانشاءات
فرع البناء وادارة المشاريع

دراسة حماية حديد التسليح من التآكل باستخدام مواد الاصلاح

مشروع سنوي مقدم الى

الجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات فرع البناء وادارة المشاريع

وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في

علوم هندسة البناء والانشاءات

من قبل

اسراء كاظم عبد الحسن

بإشراف

المشرف الثاني

م.م ميس فؤاد

1431هـ

المشرف الاول

د. معن سلمان حسن

2011م

٣٦٣
بناء

٢٠١١

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ

الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ

شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا

يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ

لنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ

شَيْءٍ عَلِيمٌ)

صدق الله العظيم

(النور ٣٥)

الافتاء

(اهدي مشروعني هذا الى وطني العراق الحبيب لتظل

رايته

مرفوعة وليبقى اسمه شامخاً , كما اهدي مشروعني الى

والديّ الغاليين اللذين أكنّ لهما كل الحب والعرفان

والى زملائي في الدراسة والى السيد (زياد صالح)

لما قدمه لي من وقت وجهد طيلة فترة تعاونه معي

واليه

اهدي ثمرة بحثي هذا متمنية للجميع التوفيق)

شكر وتقدير

الحمد لله والشكر لله الذي اتم نعمته علينا,
احب ان اتقدم بالشكر الجزيل الى اساتذتي
الافاضل في قسم هندسة البناء والانشاءات
لما قدموه لي من جهد طيلة سنوات
الدراسة.

وشكري وامتناني الكبيرين الى المدرس
الدكتور (معن سلمان حسن) والمدرسة
الفاضلة (م.م ميس فؤاد) المشرفين على
مشروعي حيث لم يتوانيا عن شرح او
تقديم اي معلومة في سبيل انجاز هذا
المشروع, واخيراً اقدم شكري الى كل من
سأهم في اكمال هذا البحث.



المحتويات

الصفحة	العنوان	الفصل
2	المقدمة	الفصل الاول
6	اسباب التآكل وطرق السيطرة عليه	الفصل الثاني
25	العمل المختبري	الفصل الثالث
37	النتائج ومناقشتها	الفصل الرابع
58	الاستنتاجات والتوصيات	الفصل الخامس
61	المصــــادر	

الخلاصة:

تتعرض العديد من المباني والمنشآت مع مرور الزمن الى حدوث العيوب والاختلالات في مناطق مختلفة من الهيكل الخرساني لتلك المنشآت لذلك فمن الضروري اصلاحها بصورة مباشرة وذلك في سبيل المحافظة على ديمومة هذه المنشآت .

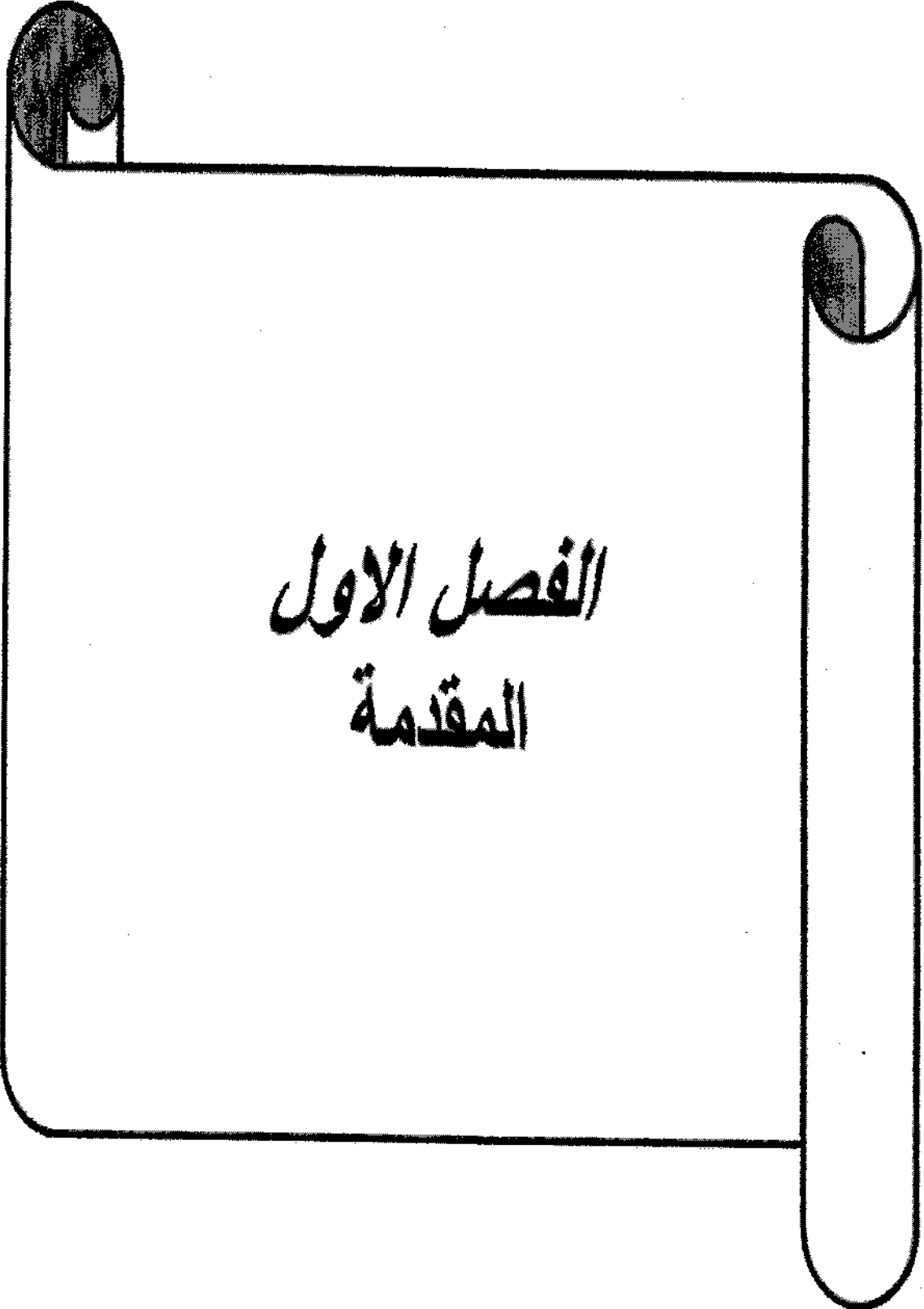
ومن الاضرار التي تتعرض لها هذه المنشآت هي الصدأ في حديد التسليح ضمن الهيكل الخرساني وهو ما تختص به هذه الدراسة حيث يمكن تقسيمها الى ثلاث مراحل المرحلة الاولى هي مرحلة الدراسة النظرية التي تبحث في ماهية الصدأ وكيفية تـكوـنه وما هي اسباب حدوثه وكيفية معالجة هذه الاسباب اضافة الى تبيان بعض الاساليب والطرق التي يمكن اتباعها لتلافي حدوث الصدأ في الاعمار المبكرة للمنشأ.

اما المرحلة الثانية فهي مرحلة الدراسة العملية حيث اشتمل البرنامج العملي لهذه الدراسة على صب ومعالجة وفحص خمس انواع مختلفة من مواد الاصلاح والجسم الخرساني وجرت جميع الفحوص لاعمار متأخرة بعد سنة واحدة من الظروف التعرضية القاسية وذلك باستخدام جهاز فحص الصدأ

(Corrosion Rate Measurement)

والمرحلة الاخيرة هي مرحلة الاستنتاجات والتوصيات التي اثمرت عنها هذه الدراسة حيث اتضح ان استخدام مواد الاصلاح كنسبة من وزن الاسمنت لها تأثير كبير في زيادة كثافة الخلطة

الخرسانية وغلّق المسام الداخلية بنواتجها التفاعلية وبالتالي فإنها تعمل كسد أو عائق أمام نفاذ الأيونات الضارة إلى داخل الخرسانة وبالتالي عدم وصولها إلى حديد التسليح.



الفصل الاول

المقدمة

1-1: تمهيد .

اصبحت الخرسانة اليوم من اكثر مواد البناء كفاءة واستعمالاً في العالم لما تتمتع به من مميزات خاصة كتوفر موادها الخام وقابليتها للتشكيل ومقاومتها للضغط والحريق وامكانية تسليحها بقضبان حديدية مع انسجام عالي معها وهي مادة ذات مقاومة شد قليلة مما قد يؤدي الى ظهور تشققات تسبب فشلها بسرعة.

إن المركبات الاساسية للاملاح كالكبريتات والكلوريدات والكاربونات تهاجم الخرسانة والحديد من خلال منفذين الاول من خلال وجودها خارج الخرسانة في التربة او المياه الجوفية الملامسة للخرسانة والثاني من خلال وجودها داخل مكونات الخرسانة في الماء او الركام او السمنت احياناً.

في الخرسانة المسلحة فان القلوية العالية للاسمنت تكوّن غلافاً واقياً حول قضبان حديد التسليح تمنع تآكل هذه القضبان نتيجة عملية الصدأ والتي تحدث عند تشقق او تمزق هذا الغلاف ونفاذ الاوكسجين والماء لسطح قضبان حديد التسليح مع توفر محلول الكتروليتي في نفس الوقت وحيث ان وجود ايونات الكلوريدات يؤدي وظيفتين فمن جهة تعمل هذه الايونات على تمزق

الطبقة القلوية حول حديد التسليح مما يسهل تماس الماء والاكسجين مع الحديد ومن جهة اخرى فان محلول الكلوريد هو محلول الكتروليتي أي ان وجود ايون الكلوريد يوفر الظروف المثلى لعملية الصدأ.

ان تآكل قضبان حديد التسليح لا يعني تلف هذه القضبان الضرورية لتحمل اجهادات الشد المسلطة على الخرسانة فحسب بل ان حجم النواتج لعملية الصدأ قد تساوي عشرة اضعاف حجم الحديد الاصلي مما يعني تمزق الخرسانة المحيطة بحديد التسليح وتشظيها.

تلعب النفاذية دوراً أساسياً عن تعرض الخرسانة لتأثير الاملاح الخارجية حيث ان التأثير يشتد ويستمر باستمرار نفاذ كميات اكبر من المياه المحملة بالايونات المدمرة لذلك فيجب تقليل نفاذية الخرسانة باستعمال نسبة ماء/اسمنت واطئة مثلاً او اية حلول اخرى.

عند تعرض الخرسانة الى تأثير الاملاح الموجودة في مكوناتها فان التفاعل يبدأ من لحظة اضافة الماء الى الخرسانة ويبطئ بمرور الزمن نتيجة استهلاك الاملاح ويظهر تأثيره على الخرسانة بصورة واضحة في الاعمار المبكرة اكثر منه في الاعمار المتأخرة.

أما عند تعرض الخرسانة الى الاملاح من مصدر خارجي ففي هذه الحالة يتطلب الامر وقتاً لحين

نفاذ اكبر كمية مؤثرة من الايونات وانتشارها داخل الخرسانة ومن ثم التأثير على خواصها.

يمكن السيطرة على تفاعل الاملاح من المصدر الداخلي باستعمال مواد ذات نوعية جيدة تتطابق

مع المواصفات المتعلقة بهذا الخصوص فيما يمكن السيطرة على تراكيز الاملاح الواصلة من

المصادر الخارجية عن طريق تحسين نوعية الخرسانة او طلاء سطحها او بكليهما.

ان من اهم النقاط الواجب الانتباه اليها هو سمك الغطاء الخرساني المحيط بحديد التسليح لما له من

اهمية في حماية حديد التسليح ومنع او تأخير وصول الاملاح الى الحديد وهذا يعتمد على مكونات

المونة السمنتية المستخدمة وعلى هذا الاساس فان هذا البحث يتطرق وبصورة تفصيلية الى تأثير

اختلاف الصفات الفيزيائية والكيميائية لمواد الاصلاح الخرسانية وذلك من خلال استعمال ثلاث

انواع من المونة وهي مونة سمنتية اعتيادية ومونة مطورة بالبولىمر ومونة بوزولانية وسيتم تبيان

مدى تأثيرها في حماية حديد التسليح من خطر التآكل ودورها في الحد منه.

1-2: أهمية البحث.

تظهر أهمية البحث بصورة جلية من خلال دراسة عملية التآكل وكل ما يتعلق بها من أسباب وعوامل مؤثرة وتأثيرات على الخرسانة ومن ثم وضع الاستنتاجات وتحليلها لإيجاد الحلول التي يمكن بموجبها الحد من حدوث التآكل وبالتالي المحافظة على الخرسانة وزيادة متانتها وديمومتها.

1-3: الهدف من البحث.

يهدف هذا البحث الى:

- 1- التعرف على العوامل المؤثرة على تآكل حديد التسليح في الخرسانة.
- 2- التعرف على العوامل المؤثرة على تآكل حديد التسليح في المونة السمنتية.
- 3- دراسة تأثير مواد الإصلاح المختلفة ودورها في تقليل حدوث التآكل.

الفصل الثاني
اسباب التآكل وطرق
السيطرة عليه

2-1 : تمهيد

نريد الاهتمام بمشكلة التآكل بشكل مستمر في مختلف أنحاء العالم وذلك بسبب انتشار

حدوث هذه المشكلة وبالأخص في المنشآت التي قد تكون حيوية مثل الجسور والابنية البحرية

وبعض الخزانات من جهة وصعوبة اجراء الصيانة والاصلاح لاضرار التآكل فضلاً عن الكلفة العالية من جهة اخرى.

في البدء لوحظ التآكل في المنشآت البحرية وسعامل الصناعات الكيميائية حالياً تشير العديد من

التقارير الى حدوثه في المعابر والانفاق والجسور التي تتعرض الى محاليل الكلور وقد ساعدت

البحوث التي اجريت في هذا المجال في توفير فهم أفضل في ماهية التآكل وما العوامل المؤثرة

عليه وبشكل خاص الدور الذي يلعبه الكلور في تحفيز التآكل ويتوقع ان يؤدي تطبيق نتائج الاعمال

البحثية على ارض الواقع الى التقليل المستمر من فرصة حدوث التآكل في المنشآت التي تشيد

حديثاً وتطويع طرق اصلاح المنشآت المتضررة بسبب التآكل.

عادةً ما تكون الخرسانة المحيطة بحديد التسليح بتوفير الحماية المطلوبة له ضد التآكل حيث ان

محيط الخرسانة الحديثة الصب العالي القاعدية يوفر الاجواء المطلوبة للحفاظ على استقرارية

طبقة اوكسيد الحديد التي تغطي سطح الحديد.

صدأ الحديد: يوجد الحديد في الطبيعة على شكل خامات أو أكاسيد أو نواتج تفاعلية أخرى وعند

استخلاصه منها فإنه سيكون في حالة غير مستقرة بسبب ميله للاتحاد مجدداً مع عناصر البيئة

المحيطة به والعودة مرة أخرى على هيئة خامات وأكاسيد إن عملية العودة هذه تسمى بالأكسدة أو

التآكل.

ويتكون الصدأ بصورة عامة نتيجة تعرض الحديد للهواء والرطوبة ويبدأ صدأ الحديد في التكون

من نقطة صغيرة في القضيب ثم تزداد هذه النقطة ويحدث اتحاد بينهما فيتكون الصدأ العام

والخرسانة بطبيعتها مادة مسامية تحوي رطوبة ولذلك فمن الطبيعي حدوث صدأ للحديد بداخلها.

في بعض الأحيان يكون الدليل الأول للاجهاد الداخلي هو اللون البني للخرسانة حول حديد التسليح

وإن هذا اللون هو ناتج من صدأ حديد التسليح، ربما ينفذ إلى سطح الخرسانة بدون تشقق الخرسانة

ولكن غالباً ما يكون مصحوب بالتشقق أو أن تشقق الخرسانة يحدث بعد ذلك بفترة قصيرة وهناك

عدة تجارب وفحوصات تم اجراءها على الخرسانة المسلحة والتي تتضمن استخدام مادة مانعة

للتأكسد أو طلاء واقى للحديد ضد التأكسد ولقد تحقق الكثير من النجاح في هذه السجلات حيث

أن ظاهرة التأكسد قد انخفضت بشكل كبير.

2-2: أسباب التآكل^[2]

إن الخرسانة هي مادة قاعدية والقاعدية هي صفة معاكسة للحامضية وكقاعدة عامة فإن

المعادن تتآكل في الأجواء الحامضية بينما توفر البيئة القاعدية حماية فعالة لها وإن الخرسانة

تخضع لهذه القاعدة.

إن القول بأن الخرسانة هي مادة قاعدية يعني أنها تحتوي على مسامات مجهرية تحتوي هذه

المسامات على محاليل ذات تراكيز عالية من أكاسيد الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم الذائبة وإن

هذه الأكاسيد بوجود الماء تعتبر هي المسؤولة عن قاعدية الخرسانة والتي تصل إلى حدود

(PH=12- 13).

إن السلوك التآكلي الذي يبيده أي منشأ يعتمد على تراكيز هذه المكونات الموجودة في ماء

المسامات كما و تعتمد على حركة الأيونات والغازات خلال هذه المسامات. تؤدي البيئة القاعدية

إلى تكوين طبقة خاملة كيميائياً مستقرة غير فعالة على سطح حديد التسليح حيث تمتاز هذه الطبقة

بكونها كثيفة وغير نفاذه وإذا غطت سطحه بكامله فإنها تمنع حصول المزيد من التآكل وتعد

هذه الطبقة جزء من حديد التسليح والمادة السمنتية المحيطة بها ولذلك تعامل على انها حلقة الوصل بينهما. ان وجود بيئه قاعدية تحيط بحديد التسليح تسهم في ضمان بقاء واستقرار الطبقة الواقية على سطح الحديد ولكن قد يحدث ان تنخفض استقرارية هذه الطبقة مما يؤدي الى حدوث التآكل والذي غالبا ما يكون اما بسبب ما يسمى بـ (عملية الكربنة) او بسبب مهاجمة ايون الكلور.

ان دور هذين العاملين (الكربنة وايون الكلور) في عملية التآكل لا يشبه دور العوامل الكيميائية الاخرى التي يمكن ان تهاجم الخرسانة المسلحة من حيث ان هذين العاملين لا يؤثران على الخرسانة المحيطة بالحديد عندما يهاجمانها قدر تأثيرهما على الحديد ذاته على الرغم من كونهم قد اخترقوا الخرسانة اولاً وهذا الدور هو معاكس تماماً لدور العوامل الكيميائية الاخرى التي يمكن ان تهاجم الخرسانة مثل ايون الكبريتات الذي يؤدي الى تدهور خطير في هيكل الخرسانة قبل ان يتأثر الحديد به ولذلك فان معظم العوامل الكيميائية الاخرى (عدا الكربنة وايون الكلور) تعد مشكلة الحديد وليس الخرسانة.

2-2-1: الكربنة.

تحدث الكربنة نتيجة اتحاد وتفاعل ثاني اوكسيد الكربون الموجود في الهواء مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في الخرسانة ومثل غازات اخرى فأن (CO_2) يذوب في الماء مكونا حامض ولكن خلافا للحوامض الاخرى فأن حامض الكربونيك لا يهاجم عجينة السمنت ذاتها بل يعمل فقط على معادلة درجة القاعدية (تخفيضها) في ماء المسامات وتكوين مركب كاربونات الكالسيوم الذي سيملاً هذه المسامات. هذه العملية تؤدي الى حدوث تشققات في الخرسانه وبالتالي تسمح باختراق الرطوبة وتزيد من معدل التآكل.

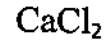
2-2-2: التعرض الى ايون الكلور.

ان المصادر التي يمكن ان يصل من خلالها ايون الكلور الى الخرسانة متعددة حيث أنه ممكن أن يكون موجود خلال عملية صب الخرسانة ضمن المكونات التي تخلط أو يمكن ان يتعرض سطح الخرسانة له من الخارج حيث يخرقه من طريق الانتشار.

● النوع الاول (اثاء عملية الصب).

يمكن ان يكون ناتج عن احد العوامل التالية:

1-اضافة المواد الكيميائية المعجلة للتصلب والتي غالباً ما تكون متكونة من مادة كلوريد الكالسيوم



2-استخدام ماء البحر في عملية الخلط.

3-استخدام الركام الملوث.

● النوع الثاني (التعرض من مصادر خارجية) قد يكون ناتج عن:

1-التعرض الى مياه البحر المالحة في المنشآت.

2-تنظيف الثلوج المتراكمة بالملح.

3-ان يكون المنشأ مشيد لأغراض خزن الاملاح والمواد الكيميائية الاخرى.



2-2-3: المقاومة الكهربائية للخرسانة.

تعتبر المقاومة الكهربائية للخرسانة مقياس لمدى مقاومة المادة لجريان التيار الكهربائي

خلالها وبعد ذلك مقياس لمدى سهولة انتقال الايونات خلال المادة السمنتية.

أن انتقال الأيونات عبر الخرسانة يعتبر من الأمور المهمة في دراسة تلك التآكل التآكلي لحديد التسليح وذلك يتم دراسة المقاومة الكهربائية لتقييم الحالة التآكلية ومدى الاختلافات فيها.

ولا يتم دراسة تأثير المقاومة الكهربائية بشكل منفصل عن باقي العوامل المؤثرة بل يتم دراسته مع مع الخواص الفيزيائية والميكانيكية الأخرى للمادة السمنتية والمقاومة الكهربائية المنخفضة تعني سهولة انتقال الأيونات عبر الخرسانة ، وإذا كانت البيئة تحتوي على أملاح الكلوريدات مثلاً عندئذ سيكون من السهل عليها اختراق الخرسانة والوصول إلى سطح حديد التسليح.

ويبين الجدول (1-2) المعايير المستخدمة في تقييم مستوى التآكل اعتماداً على قيم المقاومة الكهربائية المحسوبة.

الجدول رقم (1-2): المعايير المستخدمة في تقييم مستوى التآكل اعتماداً على قيم المقاومة

الكهربائية [4]

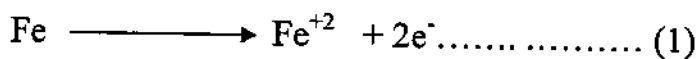
$>20 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	معدل تآكل منخفض
$10-20 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	معدل تآكل منخفض إلى متوسط
$5-10 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	معدل تآكل مرتفع
$< 5 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	معدل تآكل مرتفع جداً

يعتمد على نوعية المضاف فالمضاف المعجل يعمل على خفض (ph) وبذلك يؤثر على الغشاء المتكون فوق حديد التسليح وبالتالي يؤدي الى الصدأ والتآكل وان كلوريد الكالسيوم يعتبر من اكثر المضافات المعجلة استخداماً ومن الضروري عدم استخدام كلوريد الكالسيوم كمعجل في الخرسانة المسبقة الجهد أو ذات الشد اللاحق بل يتم استخدام فورمات الكالسيوم لانها من المضافات الفعالة والخالية من الكلوريد أو المضافات المقللة للماء ، ويمكن استخدام المضاف الحاوي على اللكنوسلفونات حيث يقلل من تأثير ايون الكلوريد.

2-3: آلية حدوث التآكل.

فور تحطم الطبقة الواقية التي تغطي سطح حديد التسليح تبدأ بقع الصدأ بالظهور وأياً كان السبب في تحطم هذه الطبقة الواقية المستقرة فان التفاعلات الكيميائية التي تحدث لاحقاً تكون متشابهة وعندما يتآكل حديد التسليح في الخرسانة فانه يذوب في الماء المتواجد داخل المسامات محرراً الالكترونات.

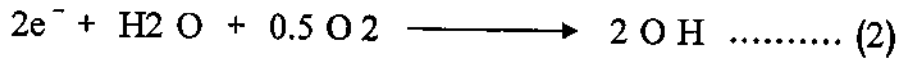
2-3-1: التفاعل الانودي Anodic Reaction



ان الالكترونين ($2e^-$) المتكونين في التفاعل الانودي يجب ان يتم استهلاكهما في مكان ما اخر على سطح حديد التسليح من أجل المحافظة على التوازن والحياة الكهربائي وبكلمه اخرى ما لم يتم تفريغ هذه الالكترونات في تفاعل كيميائي اخر فانها سوف تشحن المكان الذي تتواجد فيه وبعد فتره من الزمن يتوقف التفاعل الانودي بسبب عدم امكانية استقبال المزيد من الالكترونات ولذلك يجب ان يكون هنالك تفاعل كيميائي ثاني يستهلك هذه الالكترونات وهو تفاعل يستهلك الماء والاكسجين ايضاً.

Cathodic Reaction

2-3-1: التفاعل الكاثودي



يمكن ملاحظة تكون ايون الهيدروكسيد في التفاعل الكاثودي ان هذا الايون هو المسؤول عن زيادة القاعدية في الموقع الذي يتواجد فيه وذلك يؤدي الى تقوية الطبقة الواقية المستقرة على سطح حديد التسليح على الضد من تأثير الكربنة أو ايون الكلور في منطقة التفاعل الكاثودي ويتبين في هذا التفاعل الحاجة الى وجود الماء والأكسجين كشرطين من أجل حدوثه.

ان التفاعلين الكاثودي والانودي المشار إليهما اعلاه لا يمثلان سوى الخطوة الاولى في عملية تكوين

عن زيادة الفعالية في الموقع الذي يتواجد فيه ، ذلك يؤدي الى تآكل الطبقة الواقية المستقرة على

سطح حديد التسليح على الضد من تأثير الكربنة أو أيون الكلور في منطقة التفاعل الكاثودي

ويتبين في هذا التفاعل الحاجة الى وجود الماء والأوكسجين كشرطين من أجل حدوثه.

ان التفاعلين الكاثودي والانودي المشار إليهما اعلاه لا يمثلان سوى الخطوة الاولى في عملية تكوين

الصدأ ولكن فهمهما يشكل عتبة الدخول للفهم والالمام ومن ثم السيطرة على كامل مشكلة التآكل.

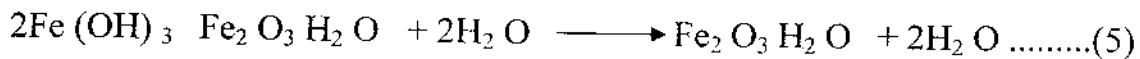
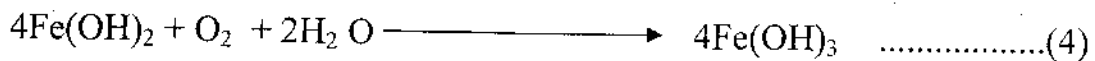
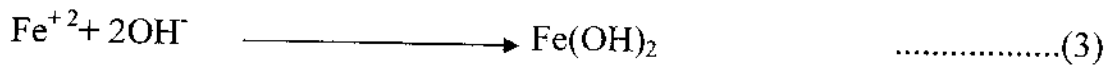
ولو جاز لنا ان نفترض ان ايون الحديد (Fe^{+2}) الناتج من التفاعل الانودي المبين اعلاه وهو الايون

الذائب في الماء المتواجد في المسامات لا يعقبه اي تفاعل كيميائي فانه عندئذ لن يكون هناك اي

ضرر يلحق بالخرسانة نتيجة لذلك اي لا تكسر ولا تشقق ولكن حقيقة الوضع طبعاً هي خلاف

ذلك حيث تمر نواتج هاتين المعادلتين بالعديد من المراحل قبل ان ينتهي بها المطاف بتكوين الصدأ

وتوضح المعادلات (3-5) بعضاً من هذه المراحل:



أن حجم ثلاثي أكسيد الحديد (Fe_2O_3) غير المتحد مع الماء يساوي تقريباً ضعف حجم المعدن الأولي الذي نشأ عنه وعند اتحاده مع الماء فإنه ينتفخ أكثر وتزداد مساميته وهذا يعني أن الحجم يزداد في المنطقة البيئية لالتقاء وجه حديد التسليح مع الخرسانة بمقدار ستة إلى عشرة أضعاف حجمه الأصلي وبكل تأكيد يقود ذلك إلى حدوث تشققات يمكن ملاحظتها نتيجة عملية تآكل حديد التسليح في الخرسانة تكون مصحوبة بمادة الصدأ على هيئة تقشرات قاسية ذات ألوان حمراء بنية تتواجد على سطح الحديد أو تلوث وتصيب الشقوق الخرسانية .

2 - 4 : أنواع التآكل .

1- الصدأ الاسود (Black Rust).

على الرغم مما ذكر سابقاً في المعادلات (3-5) من أن الصدأ الناتج يكون ذو لون احمر إلا أنه ممكن أن يتلون باللون الاسود كذلك ويحدث ذلك عندما تكون مناطق التفاعل الانودي منفصلة كلياً عن مناطق التفاعل الكاثودي بمسافة لا تقل عن بضعة امتار وان المناطق الانودية لا يصل إليها الاوكسجين عبر الخرسانة من أي مصدر خارجي ويمكن أن يحدث ذلك عندما تكون الاجزاء الخرسانية تحت مستوى سطح الماء (كما في المنشآت البحرية) او الاجزاء المشبعة بالماء

كما - حيث يبقى أيون الحديد (Fe^{2+}) الناتج من التآكل الأيوني مذاباً في الماء ، لا يخدم إلى التفاعلات المشار إليها في المعادلات (5-6) وذلك يعني عدم حصول التمدد الحجمي الذي ذكر سابقاً والمصحوب بالتشقق لتخرسانة المحيطة به وذلك فإن من الصعب إكتشافه.

إن هذا النوع من الصدأ ذو اللون الاسود أو الاخضر الغامق حيث يكتسي السائل الذي يحمل أيونات الحديد الذائبة بهذا اللون الاسود عند تعرضه للهواء لأول مرة بعد انهيار المنشأ وتكمن خطورة هذا النوع من الصدأ في انه لا يؤدي الى تشققات وبالتالي عدم امكانية اكتشافه إلا عند انهيار المنشأ بسبب النقصان في مساحات حديد التسليح المتأكلة .

2 - التآكل النقري (Petal Corrosion)

دائماً يبدأ تآكل حديد التسليح في الخرسانة بحدوث نقر أو حفر في سطحه ويكون عددها قليل ومتناثر في البداية ويزداد مع الوقت كما يتوسع حجم الحفرة وقد تتصل الواحدة بالآخرى . قد تغطي هذه النقر معظم سطح حديد التسليح وبذلك يتحول نوع التآكل من النوع النقري الى العام.

3 -التآكل العام (General Corrosion)

في الغالب يحدث تآكل موقعي بين مناطق أنودية ومناطق كاثودية لا تبعد عن بعضها البعض أكثر من بضع سنتيمترات أو ربما أكثر من ذلك بقليل وخاصةً عندما يكون التآكل ناتج عن مهاجمة أيون الكلور لسطح الحديد وليس بسبب الكربنة.

2-5: طرق حماية حديد التسليح من الصدأ.

هنالك العديد من الطرق التي يمكن بواسطتها حماية حديد التسليح من الصدأ وهي كما يلي:

1- الحماية الكاثودية: تعتبر بالوقت الحالي من افضل طرق الحماية للمنشآت الخرسانية للمناطق

الساحلية وخصوصاً منشآت مياه البحر لتبريد المصانع لكنها مكلفة نسبياً وتستخدم هذه الطريقة أيضاً في معالجة المنشآت المتضررة كبديل عن إزالة كميات كبيرة من الخرسانة .

2- إضافة بعض المواد الى الاسمنت لتقليل النفاذية قد تكون هذه الطريقة اقل كلفة من طريقة

الحماية الكاثودية ولكن عمر حمايتها أقل بكثير من الحماية الكاثودية . يمكن أيضاً استعمال مزيج خرساني لئلا حتى يتمكن من الانسياب والاحاطة بحديد التسليح من كل الجوانب .

3- حسن اختيار مواد ومكونات الخرسانة والمقصود هنا هو اختيار نوعية مناسبة من السمنت والركام.

4- استخدام حديد ستانلس ستيل ونظراً لإرتفاع تكاليف هذا النوع من الحديد فان استخدامه يتم في نطاق محدود.

5- دهان حديد التسليح بمادة الايبوكسي: هذه الطريقة اعطت نتائج ايجابية وخاصة لحديد التسليح

المعرض لمياه البحر ، ولكن ينصح بعدم طلاء حديد التسليح بالاييبوكسي لانه في حالة حدوث

الصدأ لا يمكن حمايته بأسلوب الحماية الكاثودية ولأنه في حالة حصول قصور في الطلاء فسيُسرع عملية الصدأ في حالة وصول الكلوريدات إليه.

6- مانعات تآكل الحديد : توجد أصناف عديدة من المواد الكيميائية التي تضاف الى الخرسانة لحماية حديد تسليحها من الصدأ ومنها بيكاربونات الصوديوم ، بنزوات الصوديوم ، كبريتات الخارصين ، نترات الفضة إلا ان هذه المواد قد تؤثر على الخواص الفيزيائية للخرسانة حيث ان قسم منها يقلل من قوة تحمل الخرسانة عدا نترات الصوديوم حيث ثبت جدواه بدون ان يؤثر بشكل كبير على قوة التحمل سواء كان للخرسانة الاعتيادية او الخرسانة المسبقة الجهد.

7- استخدام الحديد المكلفن: يعتبر الحديد المكلفن ذو كفاءة مناسبة خصوصاً للمباني التي تتعرض للكربنة.

8- طلاء حديد التسليح لحمايته من الصدأ: وتتضمن هذه الطريقة استعمال غطاءات مختلفة او معالجه للقضبان من اجل تقليل او منع عملية التآكل و تشمل هذه المعالجات استخدام المعادن و من ضمنها النيكل أو الخارصين لطلاء حديد التسليح و تسمى هذه العملية بالغلونة او استخدام المواد القبرية وهي ذات مفعول جيد في حماية حديد التسليح من التآكل الا انها تؤدي الى تقليل قوة التلاصق بين الحديد و الخرسانة او استخدام الطلاءات غير المعدنية و التي تؤدي بصورة عامة الى عزل حديد التسليح عن الرطوبة والاكسجين و ايونات الكلوريد.

١٠ حماية حديد التسليح لحديدية من صدأ: وتتضمن هذه الطريقة استعمال غطاءات مختلفة أو معالجة لتقطين من أجل تقليل أو منع عملية التآكل و تشمل هذه المعالجات استخدام المعادن و من ضمنها النيكل أو الخارصين نظراً لحديد التسليح و تسمى هذه العملية بالغلونة أو استخدام المواد القيرية وهي ذات مفعول جيد في حماية حديد التسليح من التآكل إلا أنها تؤدي الى تقليل قوة التلاصق بين الحديد و الخرسانة أو استخدام الطلاءات غير المعدنية و التي تؤدي بصورة عامة الى عزل حديد التسليح عن الرطوبة والاكسجين و ايونات الكلوريد.

2-6: بعض الدراسات السابقة عن تأثير ايون الكلور على الخرسانة.

استخدم (Neville)^[5] نوعين من الاسمنت البورتلاندي (المقاوم ، الاعتيادي) في صناعة نماذج خرسانية وبنسبة ماء/اسمنت مختلفة (0.4، 0.5، 0.7) قام بتعريضها الى محاليل ذات تراكيز مختلفة من كلوريد الكالسيوم ولفترة (11000) يوم ومن خلال استخدام فحوصات التغير الطولي والتغير الوزني والتغير الترددي. استنتج عند تعريض الخرسانة الى كلوريد الكالسيوم انه لا يوجد فرق في تصرف خرسانة الاسمنت المقاوم والاعتيادي وعند تعرض الخرسانة الى المحاليل المخففة لم يظهر اي تأثير متلف.

أما في المحاليل المركزة فقد حدث نقصان في التردد والوزن مما يعني حدوث نزوح ويستثنى من

بناءً على نتائج ذات نسبة ماء/ اسمنت = (0.7) العالية ، يجري الباحث ذلك الى اختلاف نسبة الخلط

؛ أظهرت جميع الخلطات تشققاً كبيراً إضافة الى حدوث نقصان كبير في نسبة الماء/الاسمنت

الواقنة .

بينما توضح نتائج الباحث (Gjrovi)^[5] حول نفاذ ايون الكلوريد من ماء البحر وباستعمال نسبة

ماء/اسمنت مختلفة وانواع مختلفة من الاسمنت ان تأثير نسبة الماء/ الاسمنت يقتصر فقط على

الطبقة السطحية ولفترة تعرض قصيرة وان مسألة نفاذ كميات مؤثرة من ايون الكلوريد الى حديد

التسليح هي مسألة وقت حتى في الخرسانة عالية الجودة حيث ان تأثير النفاذية يقتصر على الطبقة

السطحية اما في الاعماق الداخلية فان نفاذ ايون الكلوريد يتأثر بالايون المرتبط به وبقابلية التبادل

الايونية بين ايون الكلوريد ومحلول المساحات وهذا يعتمد على نوع الاسمنت لذلك فان لنوع

الاسمنت تأثير كبير على محتوى الكلوريد في الخرسانة من نسبة الماء/ الاسمنت.

أما (Suzukawa)^[5] فقد قام بتعريض نماذج من مونة الاسمنت والرمل لانواع مختلفة من

الاسمنت لمحاليل ذات تراكيز مختلفة من كلوريد المغنيسيوم ولاحظ ان النماذج المصنوعة من

الاسمنت المصنوع من خبث الافران يمتاز بمقاومة جيدة وكان التلف بسبب زيادة النفاذية الناتجة

من ذوبان هيدروكسيد الكالسيوم.

ونتيجة لوجود أيونات أخرى غير أيون الكلوريد درس الباحثان (Skalny-Odler)^[5] تأثير أنواع مختلفة من الكلوريد على الخرسانة وكان تأثيرها متشابه واستنتجوا أنه عند إضافة 2% من وزن الاسمنت كلوريدات أدت إلى زيادة في سرعة الاماهة وأشار إلى أن كمية الكيوتات المذابة في عينة الاسمنت قل تركيزها بوجود أيون الكلور بصورة أسرع مقارنة مع نماذج لا تحتوي على أيون الكلوريد.

أما الباحثان (Dawson-Longford)^[5] فقد أجريا سلسلة من التجارب لنماذج من عينة الاسمنت باستعمال نسبة ماء/اسمنت = (0.5) مع نسب مختلفة من كلوريد الصوديوم وإستنتج أن فرق الجهد الذي يسبب التأكسد قليلاً في بادئ الأمر لجميع الحالات (-0.3، -0.4) فولت لكن سرعان ما تحول إلى الحالة السلبية فعند عدم وجود كلوريد الصوديوم أعطى جهد خلال فترة التعرض (-0.15، -0.2) فولت وزيادة نسبة كلوريد الصوديوم يقل الوقت اللازم للوصول للحالة السلبية فمثلاً عندما كانت النسبة 4% قفز فرق الجهد من -0.6 إلى -0.7 فولت خلال فترة 105 يوم إلى 200 يوم وعندما كانت النسبة 0.15% فإن القفزة تمت خلال 20 يوم ولكن عندما كانت النسبة 3% أعطت حالة غير مستقرة -0.6 فولت.

وقد أوجد (1990) أن تعرض عتات خرسانية مسلحة التي ساء لبحر باستعمال الأسمنت البورتلاند السليم وسعرضة إلى تيارات كهربائية ولاحظ أنه يزيد التيار الكهربائي تزداد التشققات الطولية والتي تؤدي إلى نقصان بالعزم (12 - 50 %) وأشار بوجود علاقة بين قابلية التآكل والمقاومة النوعية للخرسانة التي بنقصاتها يزداد تلف الخرسانة وتحدث تشققات طولية.

الفصل الثالث

العمل المختبري

3-1: تمهيد.

إن الرطوبة ، الآكسجين هي وفود عميقة الصدأ الذي يبدأ حينما تفقد الحماية التي يوفرها الخرسانة للقضبان نتيجة اسباب عديدة مثل زيادة نسبة الكلوريد بالخلطة أو التحول الكربوني للخرسانة الخارجية أو حدوث شروخ نتيجة اسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة الى الاسياخ ويبدأ الصدأ.

تكمّن خطورة صدأ الحديد في انه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور اعراض وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الحديد بطيء وقد يستمر لسنين لحين ظهوره على الجسم الخرساني لذلك فان أي اصلاح للوضع المتدهور للخرسانة يعتمد كلياً على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار. وفي هذه الدراسة فقد تم استخدام ثلاث انواع مختلفة من مواد الاصلاح وقد تم اقتراحها بالاعتماد على المعلومات المطلوبة لتحقيق نطاق واسع من الخصائص والصفات الجيدة وتحديد الانواع المثلى لمواد الاصلاح المتوفرة في السوق المحلية.

3-2: وصف مكونات الخلطة الخرسانية.

هناك نوعين من الخرسانة تم استخدامها احدها ذات مقاومة اعتيادية (C_{25}) والأخرى ذات مقاومة واطئة (C_{15}) استخدم فيها السمنت البورتلاندي الاعتيادي المطابق للمواصفة العراقية رقم

(1984/5). أما الركاد القاعد (الرمل) فقد تم اختياره من منطقة الأحقاص بمحتوى الكبريتات ، الكثافة

الرطبة ، الوزن النوعي ، والامتصاصية كالتالي 0.07% ، 1500 (Kg/M³) ، 2.65 ،

1.2% . والركام الخشن (الحصى) فكل من نوع مكسر جزئياً وبتدرجات مختلفة وبمقاس أقصى

(20mm) وكان محتوى الكبريتات ، الكثافة الرطبة ، الوزن النوعي ، والامتصاصية هي على

التوالي 0.07% ، 1630 (Kg/M³) ، 2.63 ، 0.63% وكلا النوعين كانا مطابقين للمواصفة

العراقية رقم 45 لسنة 1984 والمواصفة البريطانية (B.S:882 - 1992) وقد تم غسل الركام قبل

استخدامه وذلك للتخلص من الأتربة والمواد العضوية والغرينية العالقة به.

3-3: مواد الإصلاح المستخدمة.

3-3-1: مواد الإصلاح السمنتية الاعتيادية.

ان نسب الخلط الوزنية المستخدمة في هذا النوع كانت 2:1 (سمنت : رمل) ونسبة

الماء/الاسمنت كانت (0.5) وتعد هذه الخلطة مرجعية لمعرفة تأثير استخدامها في الإصلاح

ولمقارنتها مع أنواع المونة الأخرى.

3-3-2: مواد الاصلاح البوزولانية (منخفضة القاعدية).

نسب الخلط الوزنية المستعملة في هذا النوع كانت 2:1 (سمنت : رمل) وقد تم استخدام مادة

الميتاكاوولين كمادة بوزولانية وبنسبة الماء/الاسمنت كانت (0.45).

ان المواد البوزولانية مواد معدنية سيليكية في طبيعتها أو سيليكونية وألومينية لا تمتلك لوحدها

خواص سمنتية بل تتحد كيميائياً مع الجير (هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2) الناتج من إمهاء

السمنت البورتلاندي في درجات الحرارة الاعتيادية عندما تكون بدرجة عالية من النعومة

وبوجود الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومينات الكالسيوم والتي تعمل

على سد المسام الداخلية والمسام الشعرية ومن أمثلة المواد البوزولانية مادة غبار السيليكا

(Silica Fume) ومسحوق الرماد المتطاير (Fly Ash) وكذلك خبث الافران المطحون

(Blast Furnace Slag). والشكل التالي يوضح العلاقة بين محتوى الفراغات في الخرسانة

وتأثير المواد البوزولانية عليها.



الشكل (3-1): يوضح العلاقة بين محتوى الفراغات في الخرسانة و المواد البوزولانية^[6]

3-3-3: مواد الإصلاح البوليميرية.

ان نسب الخلط الوزنية لهذا النوع كانت 2:1 (سمنت : رمل) ونسبة الماء/الاسمنت كانت

(0.45) وتستخدم مواد الإصلاح البوليميرية وذلك :

(1) لزيادة تماسك المونة الطازجة حديثة الصب مع الخرسانة القديمة.

(2) لتحسين الخواص الميكانيكية (تحسين مقاومة الشد للمونة والتماسك مع الخرسانة وحديد التسليح).

(3) من هذه المواد الشائعة الاستخدام هي مادة الستايرين بيوتدين راير S·B·R·

(Styrene Butadiene Rubber)

4-3: الخرسانة

د عمل نوعين من الخرسانة (C₂₅ - C₁₅) صممت حسب الطريقة البريطانية ونسب خلط متساوية.

1-4-3: خلطة الخرسانة إعتيادية المقاومة C₂₅

نسب الخلط الوزنية لهذا الصنف 1 : 1.6 : 2.9 تتكون من السمنت والرمل والحصى بنسبة ماء/اسمنت 0.47

2-4-3: خلطة الخرسانة واطنة المقاومة C₁₅

نسب الخلط الوزنية لهذا الصنف هي أيضاً 1 : 1.6 : 2.9 وبنسبة ماء/اسمنت 0.6. ان هذه الطريقة تتيح لنا الحفاظ على متغيرات العمل الأخرى.

5- يتم تشغيل الجهاز وادخال المعلومات المطلوبة فيبدأ الجهاز بقراءة المعطيات و اظهار النتائج, هذه النتائج تتضمن مقدار التآكل ، المقاومة الكهربائية ،و جهد التآكل الكهربائي.

الفصل الرابع النتائج ومناقشتها

4-1: تمهيد.

تم خلال هذا البحث دراسة عملية تآكل حديد التسليح في الخرسانة المسلحة وكذلك دراسة العوامل المؤثرة عليها ودراسة تأثير مواد الإصلاح على تآكل حديد التسليح باستخدام جهاز فحص الصدأ والنماذج الخرسانية التي تم شرحها في الفصل السابق وكانت النتائج كما هو مبين في الجداول أدناه.

وقد تضمن هذا البحث بيان بعض الأساليب المتبعة لحماية الخرسانة المسلحة من تآكل حديد التسليح فيها.

4-2: نتائج فحص مقاومة الانضغاط.

هذه النتائج اخذت من دراسة سابقة استخدمت فيها نفس النماذج الخرسانية الموشورية وبعمر 28 يوم تم اضافتها الى هذا البحث لغرض اثرائه بكافة المعلومات عن النماذج المستخدمة في الفحص.

الجدول (4-1): نتائج فحص مقاومة الانضغاط

No.	Type of Mix	Compressive Strength (28 days)
Mix.1	Mortar (Mc)	23
Mix.2	Mortar (M MK)	26
Mix.3	Mortar (S.B.R.)	24
Mix.4	Concrete (C15)	19

3-4: نتائج فحص تيار التآكل.

تبين الجداول من (4-2) الى (4-7) النتائج التي تم الحصول عليها بعد تهيئة الجو الملائم

لحدوث عملية التآكل اي بعد غمر النماذج في محيط ملحي مركز وتم اجراء الفحص عليها

بأعمار مختلفة وكما هو موضح ادناه.

الجدول (4-2): يبين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 15/11/2010

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface m Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	M _c	20	12.4	3
	M _{MK}	13.5	2.2	0.01
	M _{SBR}	48.6	14.6	-
C ₂₅	M _c	24.7	20.6	1.8
	M _{MK}	23.6	18.1	0.2
	M _{SBR}	17.5	0.95	0.12

الجدول (4-3): يبين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 16/12/2010

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface m Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	M _c	0.013	5.61	3.1
	M _{MK}	14.3	0.2	0.012
	M _{SBR}	3.4	6.1	-
C ₂₅	M _c	23	10.3	0.3
	M _{MK}	16.8	21	0.14
	M _{SBR}	10.7	0.63	0.5

الجدول (4-4) يبين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 13/1/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	Mc	0.01	5.3	2.7
	M _{MK}	14.2	3	0.02
	M _{S.B.R.}	2.4	5.3	–
C ₂₅	Mc	7.3	4	0.006
	M _{MK}	11	10.4	0.14
	M _{SBR}	8.5	3.8	0.05

الجدول (5-4) يبين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 8/2/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	Mc	3.6	3.6	2.8
	M _{MK}	10.8	1.4	0.03
	M _{S.B.R.}	4.2	2.4	–
C ₂₅	Mc	1.8	0.8	0.02
	M _{MK}	6.7	6.5	0.13
	M _{SBR}	5.6	2.6	1.4

الجدول (6-4) : بين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 13/3/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	Mc	8.92	6.53	4.53
	M _{MK}	12.7	1.1	0.026
	M _{S.B.R.}	7.9	5.9	0.018
C ₂₅	M _c	15.6	14.65	8.5
	M _{MK}	11.281	6.63	0.202
	M _{SBR}	9.2	4.41	2.11

الجدول (7-4) : بين نتائج فحص تيار التآكل بتاريخ 4/4/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel m A/cm ²	Interface Steel m A/cm ²	Repair Steel m A/cm ²
C ₁₅	Mc	4.14	6.2	4.23
	M _{MK}	7.9	4.7	0.035
	M _{S.B.R.}	5.6	4.08	0.02
C ₂₅	M _c	8.85	8.189	3.74
	M _{MK}	3.58	0.97	0.241
	M _{SBR}	8.4	3.9	1.5

3-4: مناقشة نتائج فحص تيار التآكل.

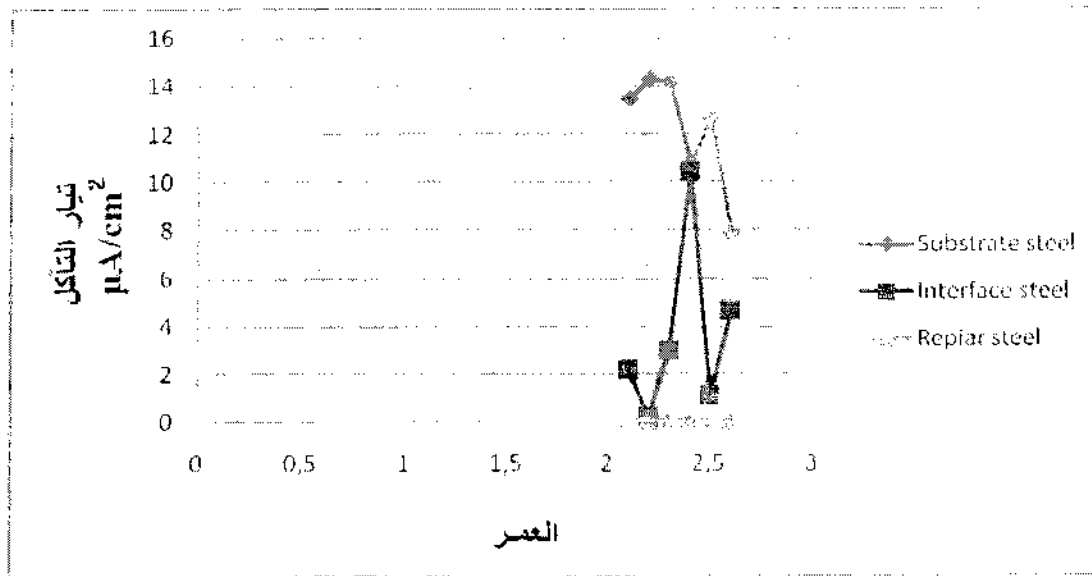
ان معدل التآكل يتزايد في الخرسانة المسلحة بزيادة تراكيز الاملاح الخارجية ودرجة التعرض لها وكذلك بزيادة درجة الحرارة . وفي بعض المنشآت المهمة التي يتطلب تشييدها ان تكون بعمر طويل جداً وديمومة عالية فإن من الممكن اجراء حسابات تصميمية من أجل التنبؤ بالزمن اللازم لبدأ حدوث التآكل ومن ثم التحكم به والسيطرة عليه لذلك فيمكن الاعتماد على هذه الدراسة من أجل فهم تصرف وتأثير مواد الاصلاح المستخدمة في خفض معدل التآكل والمحافظة على حديد التسليح من خطره.

ومن ملاحظة الاشكال الآتية يتبين ان قيم التآكل بصورة عامة متذبذبة وغير مستقرة لكنها تكون متزايدة او متناقصة بمعدل بطيء وواضح في بعض المناطق فمثلاً كانت معدلات التآكل في الخرسانة C_{15} متزايدة مع الزمن ويبدو هذا التزايد واضحاً في الجزء الذي غمر فيه الحديد بمواد الاصلاح الثلاثة. وعلى هذا الاساس فقد سجلت اعلى معدلات التآكل في الخرسانة $C_{15} - M_{SBR}$ وكانت مساوية لـ 48.6 mA/CM بينما سجلت اوطأ القيم في الخرسانة $C_{25} - Mc$ وكانت مساوية لـ 0.006 mA/CM .



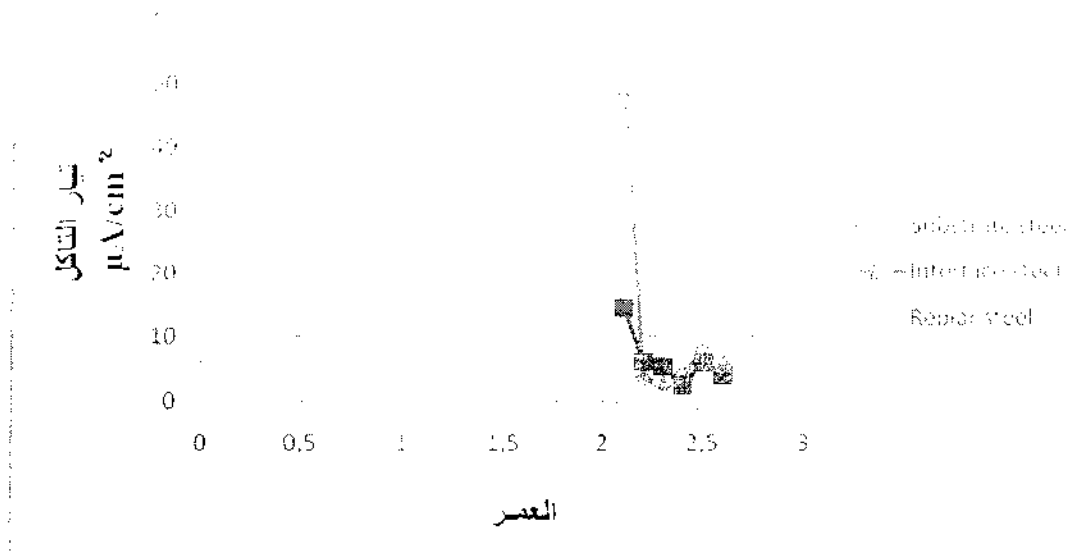
الشكل رقم (1-4): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الضعيفة باستخدام مادة

الإصلاح M_c



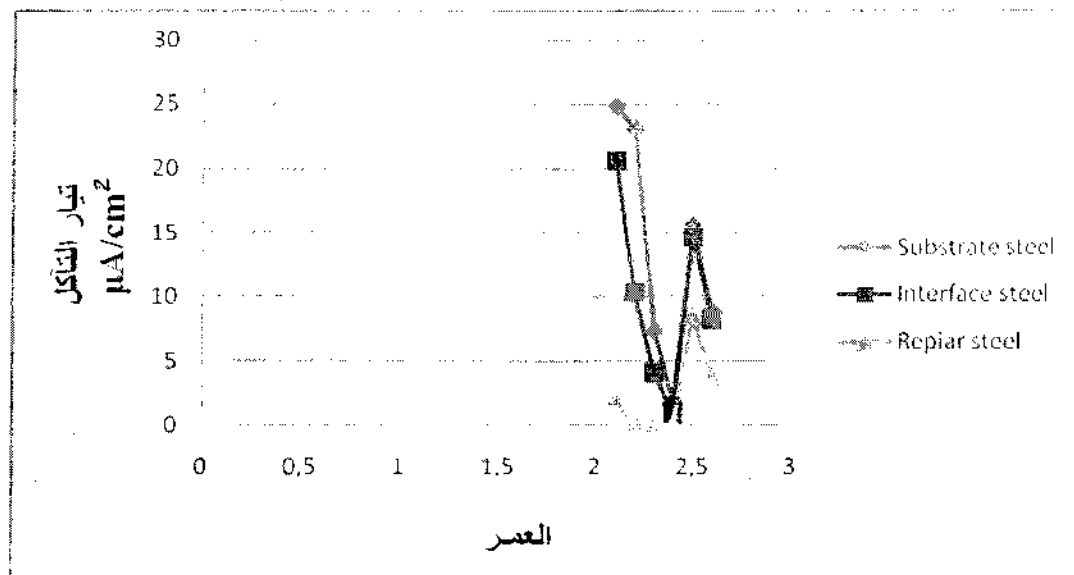
الشكل رقم (2-4): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الضعيفة باستخدام مادة

الإصلاح M_{MK}



الشكل رقم (3-4): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الضعيفة باستخدام مادة

الاصلاح $M_{S RB}$



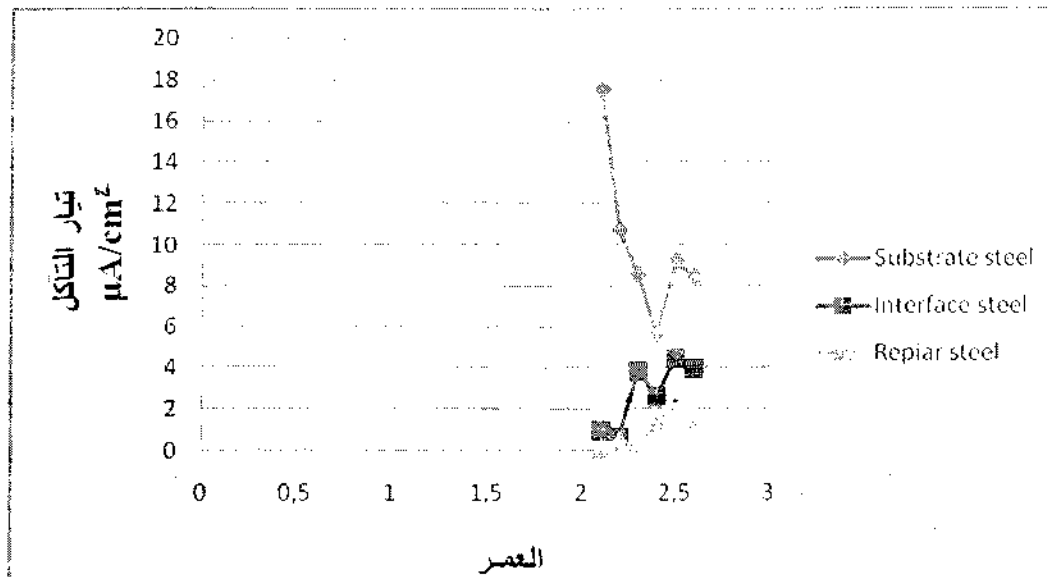
الشكل رقم (4-4): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الاعتيادية باستخدام مادة

الاصلاح M_c



الشكل رقم (4-5): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الاعتيادية باستخدام مادة

الاصلاح M_{MK}



الشكل رقم (4-6): يوضح العلاقة بين العمر والتيار التآكل في الخرسانة الاعتيادية باستخدام مادة

الاصلاح M_{SRB}

وبين الجدول (8-4) ادناه حدود المعايير المستخدمة لتقييم نتائج تيار التآكل . [7]

الجدول (8-4) المعايير المستخدمة لتقييم نتائج تيار التآكل .

Zone 1	$I_{rate} < 0.186 \text{ m A/cm}^2$	No corrosion damage
Zone 2	$I_{rate} < 0.186-0.929 \text{ m A/cm}^2$	Corrosion possible in 10 to 15 years
Zone 3	$I_{rate} < 0.929 -9.29 \text{ m A/cm}^2$	Damage expected in 2 to 10 years
Zone4	$I_{rate} > 9.29 \text{ m A/cm}^2$	Corrosion damage expected in 2 years or less

واعتماداً على المعايير اعلاه فقد كان التآكل في الخرسانة قريب من النوع الرابع (Zone 4) حيث كانت اكثر القراءات $< 9.29 \text{ mA/Cm}^2$ بينما كان التآكل في مواد الاصلاح قريب من النوع الثاني (Zone2) بمعدل يتراوح بين $(0.12-8.5) \text{ mA/Cm}^2$.

5-4: نتائج المقاومة الكهربائية.

بعد جـ : فحص تيار التآكل تم الحصول على نتائج المقاومة الكهربائية (بإستخدام نفس

الجهاز) وكما مبين في الجدول ادناه.

الجدول (4-9): يبين نتائج فحص المقاومة الكهربائية بتاريخ 15/11/2010

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel KΩ. Cm	Interface Steel KΩ. Cm	Repair Steel KΩ. Cm
C ₁₅	Mc	0.8	1.3	4.05
	M _{MK}	0.92	0.85	156.8
	M _{S.B.R.}	0.2	1.5	32.9
C ₂₅	M _c	0.1	0.16	1.3
	M _{MK}	0.13	0.14	5.1
	M _{SBR}	0.25	0.4	-

الحمد لله رب العالمين، على ما ألقى في محفل فخرنا

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate	Interface Steel	Repair
		Steel $K\Omega$ Cm	$K\Omega$ Cm	Steel $K\Omega$ Cm
C ₁₅	Mc	64.5	0.31	0.33
	M _{MK}	0.2	9.2	108.3
	M _{SBR}	0.3	2.3	10.3
C ₂₅	M _c	0.34	0.4	7.02
	M _{MK}	0.11	0.15	5.7
	M _{SBR}	0.75	0.31	—

جدول (4 11) : میں علاج شدہ کھردراتہ کچراتیہ پتھر 10/1/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel kΩ. Cm	Interface Steel kΩ. Cm	Repair Steel kΩ. Cm
C ₁₅	M _c	28.5	0.32	0.55
	M _{MK}	0.2	0.74	84.3
	M _{S.B.R.}	0.19	0.71	18.8
C ₂₅	M _c	0.22	1.4	55.3
	M _{MK}	0.2	0.8	6.2
	M _{SBR}	3	0.55	—

الجدول (1-1) القيم المقترحة لخصائص المواد المستخدمة في الترميم بتاريخ 8/2/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel KΩ. Cm	Int. Steel KΩ. Cm	Repair Steel KΩ. Cm
C ₁₅	M _c	0.3	1.04	30.4
	M _{MK}	0.35	0.6	6.6
	M _{S.B.R.}	0.33	0.5	—
C ₂₅	M _c	0.3	0.25	0.29
	M _{MK}	0.18	0.76	39.7
	M _{SBR}	0.42	0.57	45.3

الجدول (4-13): يبين نتائج فحص المقاومة الكهربائية بتاريخ 13/3/2011

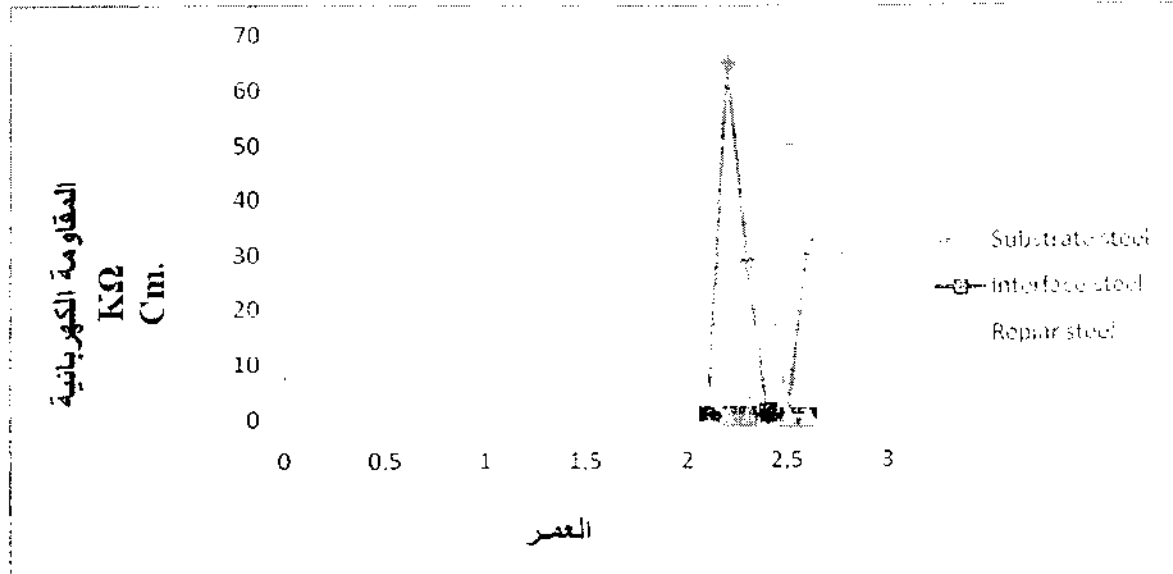
Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel KΩ. Cm	Interface Steel KΩ. Cm	Repair Steel KΩ. Cm
C ₁₅	Mc	0.23	0.26	0.26
	M _{MK}	0.27	1.66	48.4
	M _{S.B.R.}	0.33	0.3	61.83
C ₂₅	M _c	0.19	0.16	0.19
	M _{MK}	0.21	0.26	4.2
	M _{SBR}	0.23	0.53	0.84

الجدول (4-14) : قيم نتائج فحص الالتصاق التجريبية بتاريخ 4/4/2011

Substrate Concrete	Repair Material	Substrate Steel KΩ. Cm	Interface Steel KΩ. Cm	Repair Steel KΩ. Cm
C ₁₅	M _c	32.16	0.185	0.265
	M _{MK}	0.26	0.32	35.95
	M _{S.B.R.}	0.29	0.38	57.78
C ₂₅	M _c	0.195	0.19	0.77
	M _{MK}	0.62	2.93	3.25
	M _{SBR}	0.18	0.37	2.42

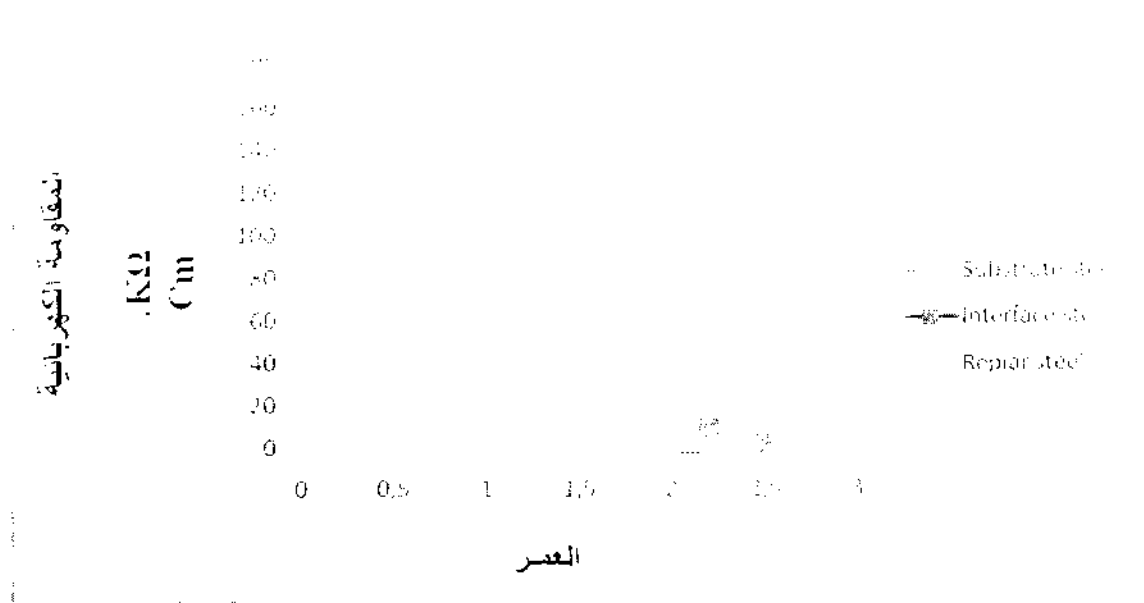
4 6: مناقشة نتائج فحص المقاومة الكهربائية.

يمكن توضيح نتائج فحص المقاومة الكهربائية بالشكل الآتي، وذلك لغرض ملاحظة تغير قيم المقاومة الكهربائية مع الزمن حيث يلاحظ أنها متذبذبة وغير مستقرة وهذا ينطبق تماماً مع نتائج فحص تيار التآكل حيث أن أعلى قيمة للتآكل يقابلها قيمة منخفضة في المقاومة الكهربائية ويمكن تفسير ذلك بأنه كلما كانت قيمة المقاومة الكهربائية منخفضة كلما زاد معدل نفاذ الأيونات الضارة إلى داخل الخرسانة وبذلك فإن هذه الأيونات (الكلوريدات) بعد نفاذها سوف تهاجم حديد التسليح وتعمل على تأكله كما مر ذكره سابقاً وباستمرار هذه العملية يرتفع معدل التآكل.



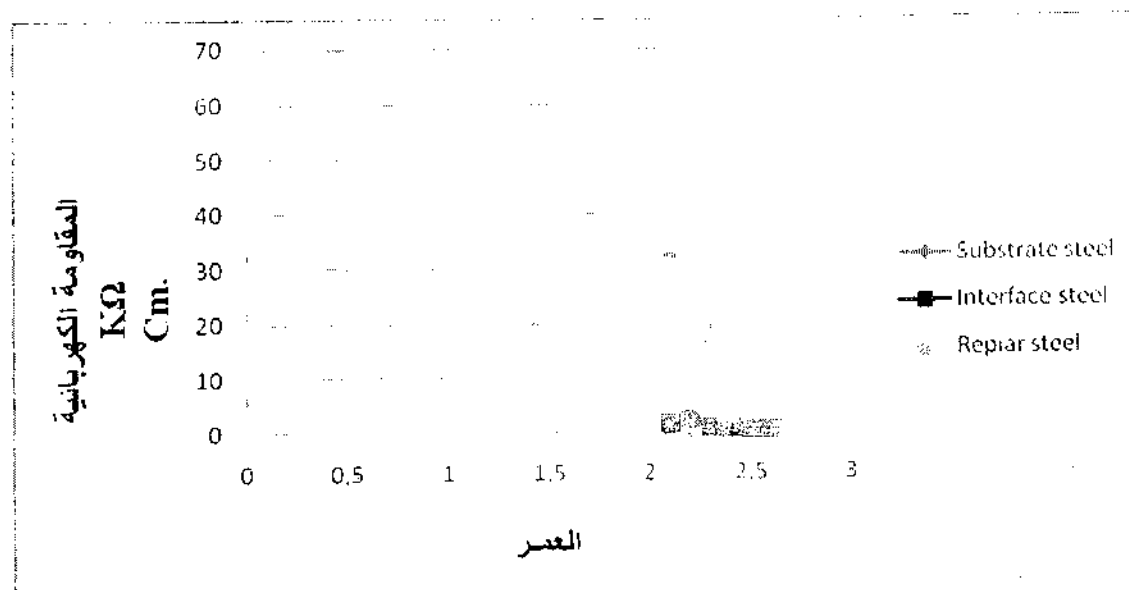
الشكل رقم (4-7): يوضح العلاقة بين العمر والمقاومة الكهربائية للخرسانة الضعيفة باستخدام مادة

الإصلاح M c



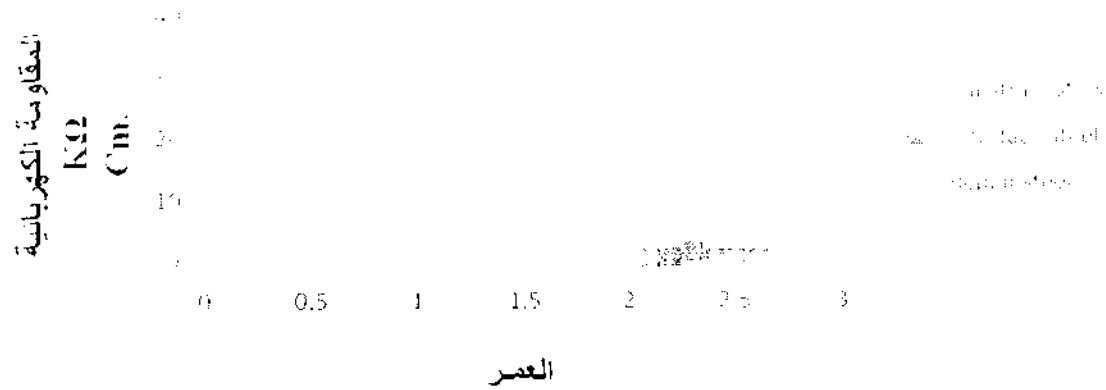
الشكل رقم (8-4) : يوضح العلاقة بين العمر والمقاومة الكهربائية للخرسانة الضعيفة باستخدام

مادة الاصلاح M_{MK}



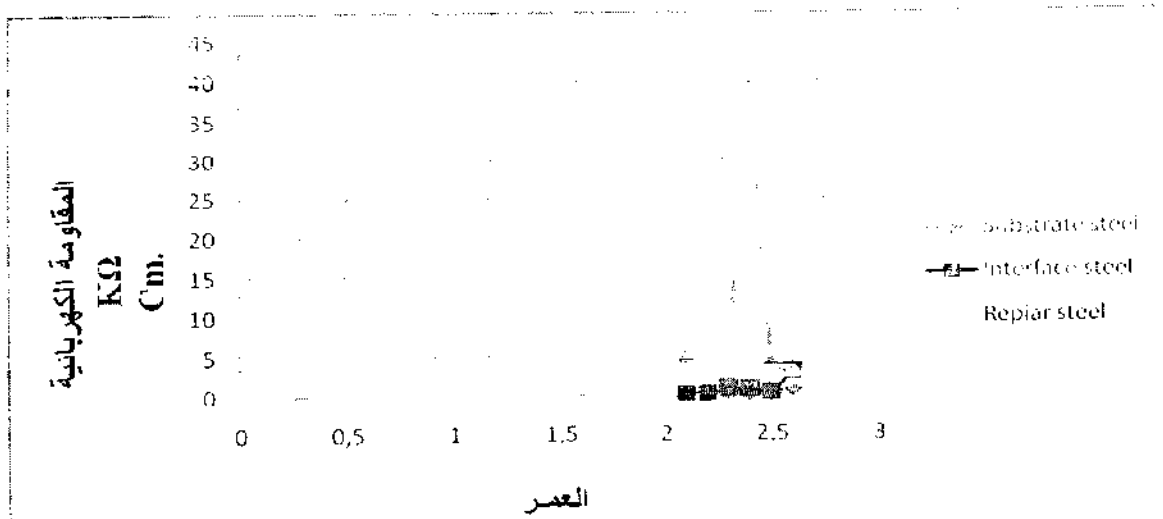
الشكل رقم (9-4) : يوضح العلاقة بين العمر والمقاومة الكهربائية للخرسانة الضعيفة باستخدام مادة

الاصلاح M_{SBR}



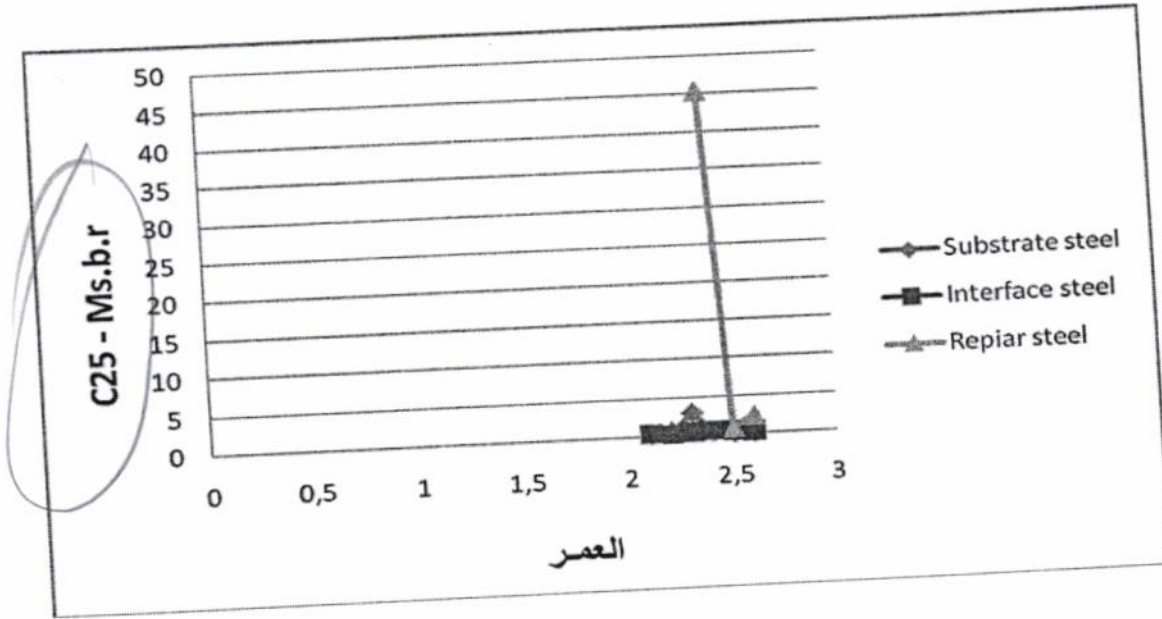
الشكل رقم (4-10): يوضح العلاقة بين العمر و المقاومة الكهربائية للخرسانة الاعتيادية باستخدام

مادة الاصلاح M_C



الشكل رقم (4-11): يوضح العلاقة بين العمر و المقاومة الكهربائية للخرسانة الاعتيادية باستخدام

مادة الاصلاح M_{MK}



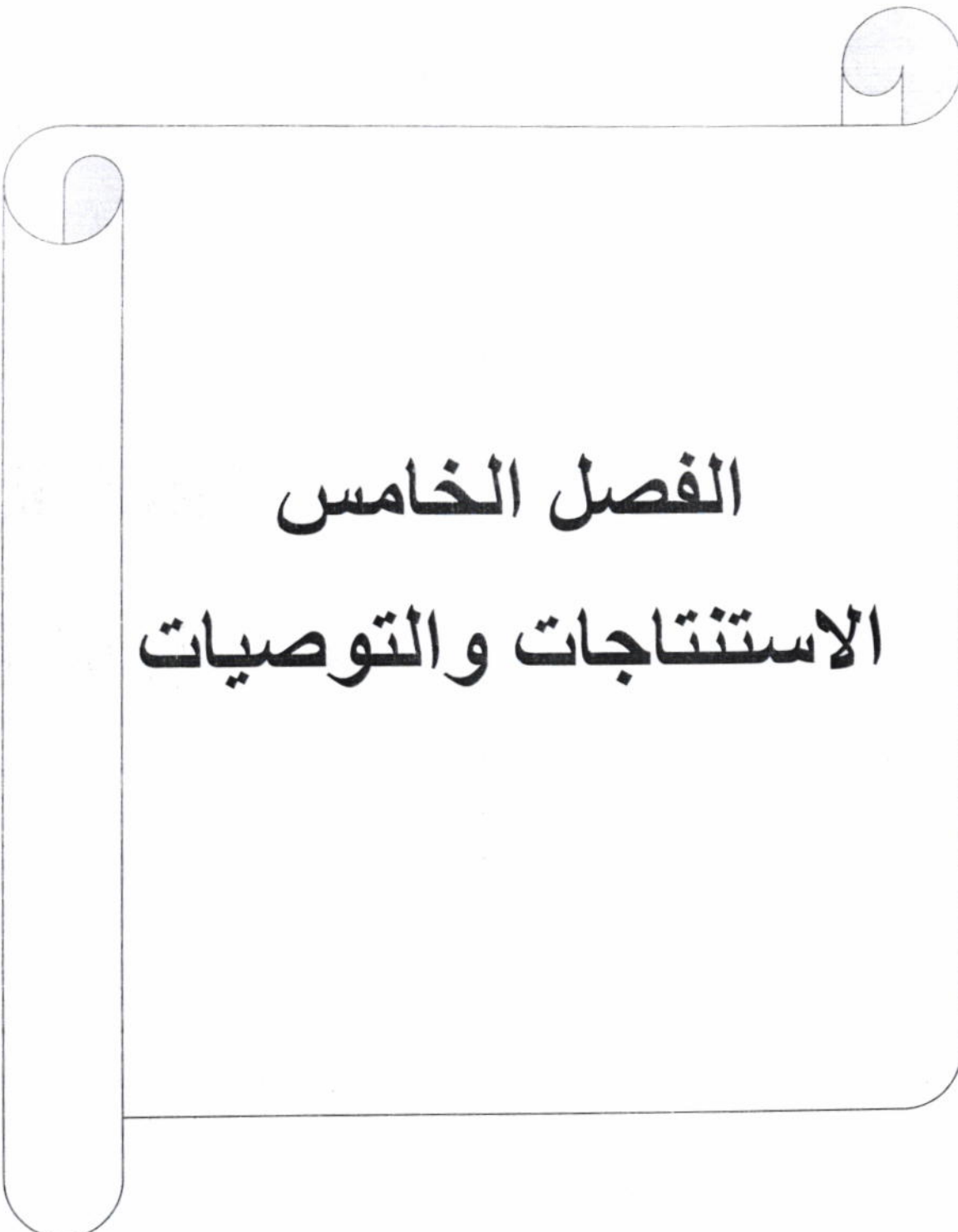
الشكل رقم (4-12) : يوضح العلاقة بين العمر والخرسانة الاعتيادية باستخدام مادة الاصلاح

M_{SBR}

ويمكن مقارنة هذه القيم مع الجدول رقم (2-1) الذي مرّ ذكره في الفصل الثاني والخاص بالمقاومة الكهربائية حيث يظهر ان اكثر من نصف القراءات كانت $> 5 K\Omega.Cm$ اي ان معدل التآكل مرتفع جداً. وقد سجلت اعلى قيمة للمقاومة الكهربائية في مادة الاصلاح $C_{15} - M_{mK}$ وكانت مساوية لـ (156.8) تقابلها اقل القيم في مادة الاصلاح السمنتية الاعتيادية $C_{25} - M_C$ وكانت مساوية لـ (0.1).

ان انخفاض معدلات المقاومة الكهربائية يعني وجود محتوى رطوبة عالي داخل الخرسانة وهو ما

يؤثر عليها حيث تقل المقاومة الكهربائية بزيادة درجة تشبع الخرسانة.

A decorative border resembling a scroll or a piece of paper with rounded corners and a vertical strip on the left side.

الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

5-1: الاستنتاجات.

من من النتائج المستحصلة للفحوصات التي اجريت على المجاميع الاختبارية تم التوصل الى:

- 1 - ان استخدام مادة الميثاكاولين (MK) كمضاف معدني مع السمنت والركام الناعم قد ادى الى تقليل معدلات التآكل في حديد التسليح ولكلا نوعي الخرسانة C_{25} , C_{15} .
- 2 - ان استخدام مادة الاصلاح المطورة بالبوليمر (SBR) جاء بالمرتبة الثانية من حيث تقليل معدلات التآكل والحفاظ على حديد التسليح ووقيته خاصة في الجزء الذي غمر فيه حديد التسليح بالمونة السمنتية المضاف اليها مادة الاصلاح.
- 3 - ان استخدام مادة الاصلاح السمنتية الاعتيادية (MC) لم يؤد الى تقليل معدلات التآكل ولكلا نوعي الخرسانة وهذا يعني عدم فاعلية هذه المادة بالاتجاه الذي يقلل من نفاذ الايونات الضارة الى داخل الخرسانة.
- 4 - ان استخدام مواد الاصلاح بصورة عامة يعمل على الحفاظ على وسط الخرسانة قاعدياً ويزيد من كثافة الخرسانة وذلك بالعمل على ملأ الفجوات داخل الخرسانة بالنواتج التفاعلية لها وبالتالي منع العامل المهاجم من النفاذ الى الخرسانة والاتصال بحديد التسليح.

5-2: التوصيات.

1 - الاهتمام بمشكلة التآكل لأنها إحدى أهم المشاكل التي تعاني منها المنطقة العربية بحكم طبيعتها

الجغرافية والبيئية وذلك من خلال التحري عن العوامل التي تؤثر على الخرسانة وحديد التسليح

سلبياً حسب نوع المنشأ وموقعه وبالتالي وضع الحلول الأولية لتلافي صدأ حديد التسليح.

2 - هناك عدة أنواع من المضافات ومواد الإصلاح التي يمكن استخدامها للتقليل من حدوث التآكل

في حديد التسليح وزيادة ديمومة المنشأ مثل مادة الميثاكاؤولين وابخرة السليكا والرماد المتطاير كذلك

فإن طلاء حديد التسليح بالايبيوكسي أو استخدام البوليمرات كغطاء للخرسانة أو استخدام مانعات

تآكل حديد التسليح مثل بنزوات أو بيكاربونات الصوديوم أو كبريتات الخارصين أو نترات الفضة

تقلل أو تمنع تآكل حديد التسليح.

Reference

- 1- د.صالح شاكر احمد ، د.حسن معن سلمان ((تآكل حديد التسليح في الخرسانة)) ،
دورة تطويرية ، تشرين الثاني /2008.
- 2- د. حسن معن سلمان ، ((الحماية الكاثودية في المنشآت الخرسانية المسلحة)) ، دورة
تطويرية ، ايلول /2009.
3. HASSAN, MAAN SALMAN, factors affecting the relationship
between total porosity and electrical resistivity for concrete
repair materials, Engineering and Technology Journal, Vol. 26,
No.8, 2008, U.O.T, Baghdad.
4. Glowers, KR. Millard, SG. and Bungey, JH, The Influence of
Environmental Conditions Upon the Measurement of concrete
Resistivity for the Assessment of Corrosion Durability. Non –
Destructive Testing in Civil Engineering, Publisher: British Inst of
NDT, Editor: Bungey, J.H., 1993, vol. 2, P.633 -660.

3. Skalny J. & Odler L. ((**The effect of Chlorides upon the hydration of Portland cement and upon some clinker minerals**)) magazine of concrete research , vol. 19 , no . Dec. 1967 pp. 203-210.
4. Mahmud Imam.. ((**Concrete Durability**)), Dec.1998.. P.11.
5. Verhulst. S.M., Fuentes,I.A.,Jirsa,J.O.,Fowler,D.W.,Wheat,H.G.,and Moon,T., "**Evaluation and performance Monitoring of Corrosion protection by Fiber – reinforced composite Wrapping**", Center of Transportation Research Bureau of Engineering Research , U.O. Texas at Austin, 2001, p.103.