الحماية الكاثودية لصلب التسليح المطمور في الكونكريت

د. واثق عيسى مهدي*، د. عبدالوهاب حسن خضر**، م.م. أحمد حسن خضر***

تاريخ التسليم:2006/11/1
تاريخ القبول:2008/3/6

الخلاصـــة:

يتناول موضوع هذا البحث دراسة مستوى الاستقطاب الحاصل فـي صـلب التسـليح المطمور في كونكريت ذو مقاومة كهربائية مختلفة وعلاقته بالمساحة السطحية لكل من صـلب التسليح وقطب الانود وتأثر ذلك بالجهد الخارجي المسلط. يشتمل البرنامج البحثي على اختبارات كهربائية وكهر وكيميائية تتمثل باستقطاب الصلب كاثوديا ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي المسلط (750 ,1000 ,1500) ملي فولت لتحديد مقدار جهد نصف الخلية ومقدار الاسـتقطاب والجهد الفعلي وكمية التيار المارة بالدائرة الكهربائية.

أشارت نتائج البحث أن التدرج الرطوبي للنماذج أدى إلى حدوث جهـد نصـف خليـة مختلف على طول صلب التسليح نتج منه استقطاب كاثودي عالي في المناطق المغمورة بمحلول الفحص مقارنة مع الاستقطاب في المناطق الجافة ويزداد هذا الاستقطاب بزيادة الجهد الخـارجي المسلط. كما أشارت النتائج إلى تأثر مستوى الاستقطاب بكثافة صلب التسـليح المعبـر عنهـا بالمساحة السطحية، حيث يقل مستوى الاستقطاب بزيادة كثافة صـلب التسـليح بثبـوت الجهـد الخارجي، وزيادة مقدار الاستقطاب تتطلب زيادة المساحة السطحية للانود التي تؤدي إلى زيـادة التيار الكاثودي المسبب للاستقطاب.

Cathodic Protection of Steel Reinforcement in Concrete

Abstract:

The present research has be investigated the relation between the induced level of polarization and the area of the embedded steel, area of the anode, the concrete resistance and the level of applied external voltage. During exposure period, the specimens were polarized using three different levels of external voltages (750, 1000, 1500) mV. Various electrochemical and electrical measurements were made, these include half cell potential, degree of polarization, flowing current and the actually applied voltage as compared with the external one.

The results indicate differential moisture content in each specimen has produced different potentials along the steel bars. Greater polarization has always been associated with the submerged portion of the specimen where the concrete resistance is at its minimum. whereas the degree of polarization is directly proportional to the level of external voltage. The results also illustrate that, for a given level of externally applied voltage, the degree of polarization is dependent on the area of protected steel and the area of the anode. Thus the polarization

* قسم هندسة السيطرة والنظم/ الجامعة التكنولوجية، بغداد – العراق
** قسم هندسة تقنيات القوالب / الكلية التقنية، بغداد - العراق
*** مركز بحوث الطاقة والوقود/ الجامعة التكنولوجية، بغداد – العراق

increases with the decrease in the protected steel area and the increase of the area of the anode.

1.المقدمة:

تآكل صاب التسليح هو عملية كهروكيميائية ينجم عنها سريان تيار كهربائي خلال وسط منحل كهربائياً ينتج عنه حدوث تفاعل أكسدة في أحد أطراف التفاعل مكوناً الأنود :

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e \qquad .....[1]$$

ولحدوث التوازن الإلكتروني، فأن الإلكترونات الناتجة عن التفاعل الأنودي تستهلك في الطرف الأخر من التفاعل مكوناً الكاثود:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH)^- \;..[2]$$

أيون الهيدروكسيد الناتج من التفاعل الكاثودي يتفاعل مع الحديد في منطقة الأنود لينتج الصدأ :

$$Fe^{+2} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 \;\;...[3]$$

أن تآكل صاب التسليح يحدث نتيجة تكوين خلية كهربائية ذات أربع مقومات أساسية: الأنود والذي تحدث عنده الاكسدة و الكاثود والذي يحدث عنده الاختزال و مسار معدني لسريان الإلكترونات والإلكترولايت (الكونكريت) لسريان الأيونات [2, 1].

هناك أربع حالات لتآكل الحديد بالاعتماد على الظواهر التي يتم معاينتها في الواقع العملي:

حالة الخمول: وتحصل عند غياب العوامل التي تقلل من قيمة pH ،أي تحصل في الخرسانة ذات النوعية الجيدة (pH =13)، حيث يحصل تفاعل أنودي يعبر عنه بالمعادلتين (4) و (5).

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e^- \;\;...[4]$$

$$2Fe + 3H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 6H^+ + 6e^- \;\;.....[5]$$

المركبين من اكاسيد الحديد (Fe_2O_3 و Fe_3O_4) سوف يؤديان إلى تكوين طبقة حماية رقيقة حول الحديد تجعل معدل التآكل واطئ جداً (0.1 -1) مايكرون/سنة، مدى جهد الخمول في هذه الحالة عند غياب الكلوريدات يكون من 200+ إلى 700− ملي فولت (SCE). تنخفض هذه الحدود إلى من 100+ إلى 200− ملي فولت (SCE) في الخرسانة المهواة أما في حالة وجود الكلوريدات فأن حالة الخمول تمتاز بجهد سالب يتراوح من 800- إلى 1100− ملي فولت (SCE).

حالة التآكل التنقري: وفيها يبدأ التآكل نتيجة تدهور موضعي في الطبقة الحامية للحديد وغالباً ما تكون هذه المنطقة صغيرة جداً مكونة الأنود الذي يشترك مع أقرب منطقة خمول على سطح حديد التسليح حيث يختزل عندها الأوكسجين لتكوين الكاثود المكمل لخلية التآكل. غالباً ما يحدث التنقر عندما تكون كمية كافية من الكلوريدات في مساحة معزولة من صاب التسليح. يتراوح جهد التآكل لهذه الحالة من 200− إلى 500− ملي فولت (SCE).

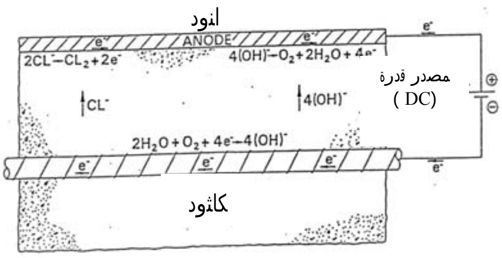
حالة التآكل العام: ويحدث نتيجة فقدان عام للخمود نتيجة الكربنة أو وجود كمية كبيرة من الكلوريدات حيث أن كلاً من التفاعلات الأنودية والكاثودية تتم على كل أجزاء سطح المعدن،مدى جهد التآكل يتراوح بين 450- إلى 600 – ملي فولت (SCE).

حالة التآكل المنخفض الفعال: ويحدث عندما يكون توفر الأوكسجين محدوداً جداً لإسناد التفاعل الكاثودي مما يجعل التآكل

قليل جداً، لذلك فأن جهد التآكل يكون بحدود 1200– ملي فولت (SCE).[4, 3].

2 . الحماية الكاثودية للصلب المطمور في الكونكريت:

الحماية الكاثودية هي عملية كهروكيميائية تتحقق بتسليط تيار مباشر يخرج من الأنود ويسري خلال الكونكريت إلى صلب التسليح مما ينتج عنه تولد ايونات الهيدروكسيد على سطح الكاثود (صلب التسليح) تكدس الايونات القلوية (صوديوم، بوتاسيوم) على سطح الصلب وهجرة أيونات الكلوريد بعيداً عن الصلب، شكل (1) [5].



شكل (1) نظام الحماية الكاثودية بطريقة التيار المسلط [5].

ينتج عن تولد أيونات الهيدروكسيد زيادة في قلوية الكونكريت مؤدية إلى إعادة بناء طبقة الخمول التي تم تحطيمها بواسطة الكلوريدات، بينما تستهلك الأيونات السالبة من الهيدروكسيد والكلوريدات من قبل الأنود.

تطبق الحماية الكاثودية بطريقتين، الأولى تسمى طريقة الأنود المضحي وفيها يربط المعدن المراد حمايته بمعدن اكثر سالبية لتكوين دائرة كهربائية تتكون من الكاثود (المعدن المحمي) والأنود (المعدن المضحي) مما ينتج عنه سريان تيار كهربائي نتيجة لوجود فرق في الجهد الكهربائي. يكون القطب المضحي في الخرسانة المسلحة أما من المغنيسيوم، الخارصين أو الألمنيوم، حيث يكون معدل التآكل عالي نسبياً بالإضافة إلى كون القدرة المساطة قليلة [6].

تسمى الطريقة الثانية بطريقة التيار المسلط، وفيها يحتاج إلى مصدر قدرة بالإضافة إلى قطب خارجي للتحكم في كثافة التيار المطلوب لإجراء الحماية، وبما أن انسياب التيار في هذه الطريقة لا يعتمد على فرق الجهد بين القطب الخارجي والقطب المراد حمايته فأنه من الممكن أن تكون مواد الأنود من التيتانيوم والنيوبيوم، ذلك لان هذه المواد تتآكل بشكل بطئ جداً. تستخدم هذه الطريقة يشكل واسع بسبب التوصيلية الكهربائية الواطئة [7].

3. الأداء للحماية الكاثودية:

لتحقيق حماية كاثودية مُرضية لصلب التسليح المطمور في الكونكريت فإنه يجب تحقيق واحد أو اكثر من المعايير التالية : [9,8]

1- يكون فرق جهد نصف الخلية اللحظي بعد قطع التيار، اكثر سالبيه من 720 – ملي فولت نسبة إلى القطب المرجعي Ag / AgCl / KCl عندما يوضع على سطح الكونكريت.

2 - يكون فرق جهد نصف الخلية اللحظي بعد قطع التيار، اكثر سالبيه من 600 – ملي فولت نسبة إلى القطب المرجعي Ag / AgCl / KCl عندما يكون مطمور في الكونكريت.

3 - لايقل مقدار الانخفاض الحاصل ما بين جهد نصف الخلية اللحظي وبين جهد نصف الخلية بعد 4 ساعات عن 100 ملي فولت.

4 - لايقل مقدار الانخفاض الحاصل ما بين جهد نصف الخلية اللحظي وبين جهد نصف الخلية بعد أكثر من 24 ساعة عن 120 ملي فولت.

4. الجانب العملي:

لغرض دراسة أهداف البحث، تم اختبار مجموعتين من النماذج.

4.1 المجموعة الأولى

وتضم النماذج التي تكون لها مساحة أنود 400 سم^2، وتكون على ثلاث حالات:

الحالة A :

وتمثل النماذج التي يكون فيها قضبان صلب التسليح متصلة مع بعضها من الخارج. وترتبط هذه القضبان بالطرف السالب من مصدر تجهيز القدرة الخارجي لتمثل الكاثود بينما يربط الأنود بالطرف الموجب من مصدر تجهيز القدرة.

الحالة B :

وتمثل النماذج التي تتكون من طبقتين من صلب التسليح، طبقة قريبة من شبكة الأنود وتبعد 8 سم عن شبكة الأنود وترتبط بالطرف السالب لتمثل الكاثود، وطبقة اخرى تبعد 23 سم عن شبكة الأنود وغير متصلة بالدائرة الكهربائية.

الحالة C :

وتكون نفس النماذج (B)، غير أن طبقة صلب التسليح التي تمثل الكاثود والمرتبطة مع الطرف السالب والتي تبعد 23 سم عن شبكة الأنود، بينما طبقة صلب التسليح القريبة من شبكة الأنود غير مرتبطة بالدائرة الكهربائية.

4.2 المجموعة الثانية:

وتضم النماذج التي تكون لها مساحة أنود 250 سم^2، وتكون على ثلاث حالات:

الحالة D:

وهي تكون مماثلة للنماذج (A) من حيث مساحة صلب التسليح وألا بعاد لكنها تختلف بمساحة الأنود وتشكيل الصلب.

الحالة E :

تتكون من طبقتين من صلب التسليح، طبقة تبعد 8 سم عن شبكة الأنود وترتبط بالطرف السالب لتمثل الكاثود، وطبقة أخرى تبعد 33 سم عن شبكة الأنود وغير متصلة بالدائرة الكهربائية.

الحالة F :

وتكون نفس النماذج (G)، عدا أن الطبقة والتي تبعد 33 سم عن شبكة الأنود هي التي ترتبط بالطرف السالب من مصدر القدرة لتمثل الكاثود، بينما طبقة صلب التسليح القريبة من شبكة الأنود غير مرتبطة بالدائرة الكهربائية.

5 . المواد المستعملة:

1.5صلب التسليح:

تم تسليح النماذج بأربعة قضبان كتسليح طولي ذات قطر 12 ملم ذات خواص فيزيائية مبينة في الجدول (1) علماً بأن القضبان المستخدمة كانت نظيفة من الصدأ. صلب التسليح ربط إلى القطب السالب لمجهز القدرة بواسطة سلك نحاسي. تمت الفحوصات الفيزيائية للصلب في المركز القومي للمختبرات والبحوث الإنشائية.

جدول (1) الخواص الفيزيائية الرئيسية لصلب التسليح

الخواص	النتائج
القطر	12 ملم
مساحة المقطع	112 ملم^2
إجهاد الخضوع	459 نيوتن / ملم^2
الإجهاد الأقصى	670 نيوتن / ملم^2
الاستطالة	% 24.1

2.5 مادة الأنود:

استخدمت شبكة من أسلاك سبيكة البراص تم تشكيلها بشكل هندسي وضعت على سطح النماذج لتمثل مادة الأنود. التركيب الكيمياوي لسبيكة شبكة الانود مبين في الجدول (2)، تمت التحليلات الكيمياوية لسبيكة البراص في الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية. شبكة الانود ربطت إلى

القطب الموجب لمجهز القدرة بواسطة سلك نحاسي.

جدول (2) التركيب الكيمياوي لسبيكة شبكة البراص (الانود).

مواد الانود	التركيب الكيمياوي %									
	Cu	S	Sb	Ni	Al	As	Mn	Si	Fe	Zn
سبيكة ال اص	Rem.	.0025	.0084	.0004	.012	.005	.0088	.0043	.007	30

6. تصميم خليط الكونكريت للنماذج:

صمم الخليط الكونكريتي للنماذج للحصـول على مقاومة أنضـغاط 35 نيـوتن / ملـم^2 بعمر 28 يوم، نسبة الخلط (نسبة وزنية) 4 : 2 : 1 (سمنت : رمل : حصى)، محتـوى السمنت 345 كغـم / م^3 ، نسـبة المـاء / السمنت (0.6) لجميع النماذج وكان مقـدار الهطول الناتج (130 - 150) ملم.

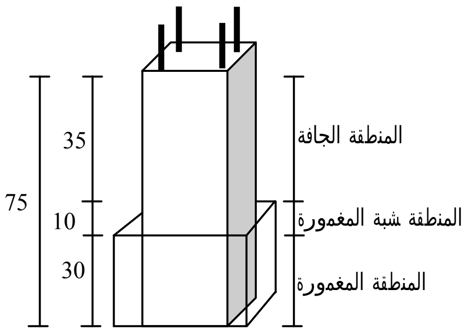
7. الاستقطاب:

تم إجراء عمليـات الاسـتقطاب الكـاثودي لصلب التسليح باستخدام مجهز قدرة خارجي لتسـليط جهــد ثابــت بالمسـتويات (750 ,1000 ,1500) ملي فولت. لغـرض أخذ قراءات جهد نصف الخلية قبل وأثنـاء الاستقطاب على طول النموذج، فقد تم تقسيم النموذج إلى ثـلاث منـاطق، شـكل (2)، بالاعتماد على المحتوى الرطوبي والمقاومة الكهربائية ودرجة التلوث بالكلوريدات وهذه المناطق هي :

المنطقة المغمورة تماماً بمحلـول الفحـص (Submerged Zone).

المنطقة شـبه المغمـورة (Splash Zone) وهي المنطقة التي تقع مـا بـين المنطقـة المغمورة والمنطقة الجافة والتـي فرضـت بأنها تعادل (10) سم فوق مسـتوى الغمـر بالاعتماد على المعاينة البصرية.

المنطقة الجافة (Dry Zone).



شكل (2) تفاصيل النموذج المستخدم.

8. النتائج والمناقشة:

1.8 المقاومـة الكهربائيـة بـين الكـاثود والانود:

الأشكال (3) و(4) تبين المقاومة الكهربائية باستخدام تقنية التيـار المتنـاوب للنمـاذج (D,A) حيث نلاحظ بأن المناطق المغمورة وشبه المغمورة تمتلكان مقاومة كهربائيـة ضعيفة مقارنة مع المنطقة الجافـة لـنفس النماذج والتي تمتلك مقاومة عالية، فمـثلاً كانت المقاومـة الكهربائيـة للنمـاذج(A) للمناطق المغمورة، وشبه المغمورة والجافة

(11350,430,357) أوم على التوالي. أما بالنسـبة للنمـاذج (D) فكانـت (11330,457,340) أوم. وبسـبب هـذا الاختلاف في المقاومة الكهربائية على طول النموذج يتضح بأن انحراف جهـد نصـف الخلية للمناطق الجافة يكون أقل سالبيه من المناطق المغمورة وشبه المغمورة، والشكل (5) يبين ذلك عملياً ولجميع مستويات الجهد الخارجي المسلط، وكما يبين هذا الشكل بأن انحراف جهد نصف الخلية فـي المنـاطق المغمورة يكون واضحاً جداً في المستويات المختلفة من الجهد الخارجي بينمـا يكـون غير واضح في المناطق الجافة ويرجع ذلك إلى اختلاف المقاومة الكهربائية حيث انـه في المناطق المغمـورة تكـون المقاومـة ضعيفة جداً بحيث أن أي زيادة في الجهـد الخارجي تؤثر على مقدار الانحراف، بينما تكون المقاومة عالية في المنطقة الجافة أي أن هناك فقدان عالي في الجهد ، لذا فتغير الجهـد الخـارجي المسـلط (1500,1000,750) ملي فولت لا تـؤثر بشكل فعال على مدى انحراف الجهد لصاب التسليح. اضافة إلى ذلك، كانـت المقاومـة الكهربائية للنماذج (F , E ,C , B) تسلك نفس السلوك للنماذج (D,A) وكما مبين في الجدول (3).

لقد تبين من خلال نتائج البحـث إلـى أن الاتصال الكهربائي بين طبقات الصاب يحل مشاكل كون طبقة الصاب قريبة أو بعيـدة من ألا نود، لان التيار الذي يسـري فـي الدائرة الكهربائية يكون ذو قيمـة واحـدة، حيث يسبب انحرافاً متماثلاً فـي المنـاطق المغمورة بينما يكون متقارباً في المنـاطق الجافة بانحراف معياري (±45) ملي فولت لجميع قضبان الصاب التي تعمـل كـاثوداً والواقعة ضمن منطقة واحدة كـأن تكـون مغمورة، شبه مغمورة أو جافة ولكن مقدار الانحراف يختلف من منطقة لأخرى تبعـاً للمقاومة الكهربائية في تلـك المنطقـة. أن الجهد الخارجي المسلط يتوزع ما بين الانود والكاثود حيث سبب انحراف جهد نصـف الخلية للكاثود بقيمة سالبة بينما تكون موجبة لجهد نصف الخلية للانود وأن الفرق بينهما يساوي الجهد الفعلي المسلط علـى صـاب التسليح والـذي بـدوره يسـاوي الجهـد الخارجي المسلط في المنـاطق المغمـورة بينما يكون اقل في المناطق الجافة والسبب في ذلك يرجـع إلـى اخـتلاف المقاومـة الكهربائية. يمكن حساب التيار الكلي المار بالدائرة لأي نموذج عن طريق مجمـوع التيارات المارة في مناطق النموذج :

$$\text{T. C.} = \frac{\Delta E_1}{R_1} + \frac{\Delta E_2}{R_2} + \frac{\Delta E_n}{R_n} \quad ..[6]$$

حيث أن:

n : عدد مناطق النموذج.

ΔE : الاستقطاب الكاثودي (ملي فولت).

R : المقاومة الكهربائية (أوم).

أن المناطق المغمورة تأخذ أكبر كمية مـن التيار، جـدول (3)، لـذلك كـان مقـدار الأستقطاب في المناطق المغمورة أكبر مـن المناطق الجافة ،لذلك يجب تقسـيم منـاطق الأنود المعرضة الى الحماية الكاثودية تبعـاً للمقاومة الكهربائية للمنطقة.وهذا يعنـي أن كل عنصر يمكن أن يتكون من عدة منـاطق كهروكيمياوية لمنع حصول فرط الحماية في المناطق ذات المقاومة الكهربائية القليلة مثل المناطق المغمورة لنماذج البحث عند وصول الصاب في المناطق الجافة الـى المعـايير التصميمية.

2.8 تأثير المساحة السطحية للصاب علـى مستوى الاستقطاب:

تمثل المساحة السطحية للصاب، مدى كثافة صاب التسليح، وهي تؤثر علـى مسـتوى الاستقطاب الذي يمثل عن كفـاءة الحمايـة وفعاليات التيارات المتولدة نتيجة لفرق الجهد الخارجي في توفير تلك الحماية. أن تـأثير المساحة السطحية للصـاب علـى درجـة الاستقطاب لفرق جهد معين تتضاءل كلمـا ازدادت المقاومة الكهربائية ويكـون تـأثير المساحة في أعلى مستوياته فـي المنـاطق المغمورة بينما تتضاءل في المناطق الجافة.

الجدول (3) يبين بأن هناك علاقة واضحة بين كثافة التيار ومقدار الاستقطاب، حيث يزداد مقدار الاستقطاب كلما تزداد كثافة التيار. فعند تسليط جهد ثابت للحالات (A ، B ، C) يلاحظ بأن كثافة التيار المسببة للاستقطاب تكون أقل ما يمكن عند الحالة (A) وذلك بسبب زيادة المساحة السطحية للصلب. وعند مقارنة الحالتين (C , B) فأنه بالرغم من ان المساحة السطحية للصلب متساوية، فانه لجهد خارجي واحد، يلاحظ بأن كثافة التيار للحالة (B) تكون أكبر من الحالة (C) وذلك لأن الأخير يمتلك مقاومة كهربائية أكبر ومقدار استقطاب أقل. هذا السلوك يكون مشابهاً للنماذج (D ، E ، F).

3.8 تأثير المساحة السطحية للانود على الاستقطاب الكاثودي:

ان المساحة السطحية للانود تأثير مهم على مقدار الاستقطاب الكاثودي الحاصل في الصلب حيث يتبين من الجدول (4) بأن لحالة تسليط جهد خارجي معين ، فان مقدار الاستقطاب الحاصل في النماذج (A، B ، C) أكبر من مقدار الاستقطاب الحاصل بالنماذج (D ، E ، F) وخصوصاً عند الجهود الخارجية العالية. يبين الشكل (6) بأن تسليط جهد مقداره 750 ملي فولت تجعل الصلب في المناطق المغمورة للنماذج (A) أكبر سالبيه من النماذج (D) بمقدار 75 ملي فولت بينما تسليط جهد خارجي 1500 ملي فولت يجعل الفرق يصل إلى 194 ملي فولت، والسبب في ذلك يعود إلى أن مساحة ألانود للنماذج (A) أكبر من مساحة ألانود للنماذج (D). أن تأثير مساحة ألانود على مقدار الاستقطاب للصلب في المناطق الجافة يكون أقل تأثراً مما هو في المناطق المغمورة ويرجع السبب في ذلك الى أن زيادة المساحة السطحية للانود بثبوت المساحة السطحية للصلب والجهد الخارجي تؤدي إلى زيادة التيار المار بالدائرة الكهربائية والذي ينعكس بدوره على زيادة كثافة التيار الكاثودي المسبب للاستقطاب.

9 . الاستنتاجات:

1. يعتمد مقدار الاستقطاب الحاصل للصلب على كل من الجهد الخارجي والمقاومة الكهربائية ما بين الكاثود والانود، حيث يزداد مقدار الاستقطاب بزيادة الجهد الخارجي ويكون في أعلى مستوياته عندما تكون المقاومة الكهربائية قليلة بينما يكون ذو تأثر أقل كلما تزداد المقاومة الكهربائية.

2. أن الجهد الفعلي المسلط ما بين الانود والكاثود يتساوى مع الجهد الخارجي المسلط في المناطق ذات التوصيلية العالية كالمناطق المغمورة لنماذج البحث بينما يكون أقل في المناطق الجافة.

3. يمكن حساب التيار الكلي المار بالدائرة الكهربائية للنظام لأي نموذج من خلال مجموع التيارات المارة في مناطق النموذج ، والذي من خلاله يمكن معرفة مقدار التيار الذي يمكن أن تحتاجه كل منطقة لغرض حمايتها كاثودياً.

4. يجب تقسيم مناطق الانود تبعاً للمقاومة الكهربائية وجهد نصف الخلية لغرض تطبيق المعايير التصميمية على كل جزء بشكل منفصل لمنع حصول فرط الحماية التي تسبب فشل عمل النظام.

5. يقل مقدار الاستقطاب الكاثودي بزيادة كثافة صلب التسليح المعبر عنها بالمساحة السطحية للصلب، كما يزداد الفرق في مقدار الاستقطاب عند زيادة فرق الجهد الخارجي المسلط وخصوصاً في المناطق ذات التوصيلية الكهربائية العالية ويكون اقل تاثرا في المناطق ذات التوصيلية الكهربائية القليلة.

6. يزداد مقدار الاستقطاب الكاثودي بزيادة المساحة السطحية للانود، لذلك فأن مقدار الاستقطاب للصلب في نماذج

المجموعة الأولى أكثر سالبية من مقدار الاستقطاب في نماذج المجموعة الثانية.

10. المصادر:

[1] Uhlig, H. H., "***Corrosion and Corrosion Control***", John Wiley and Sons, New York, 1963, pp.38.

[2] Scully, J. C., "***The Fundamental of Corrosion***", Bergaman Press, 3rd edition, 1990.

[3] Wheat, H. G., and Eliezer, Z., "***Some Electrochemical Aspects of Corrosion of Steel in Concrete***", CORROSION-NACE, Vol. 41, No. 11, Nov. 1985, pp. 640 - 645.

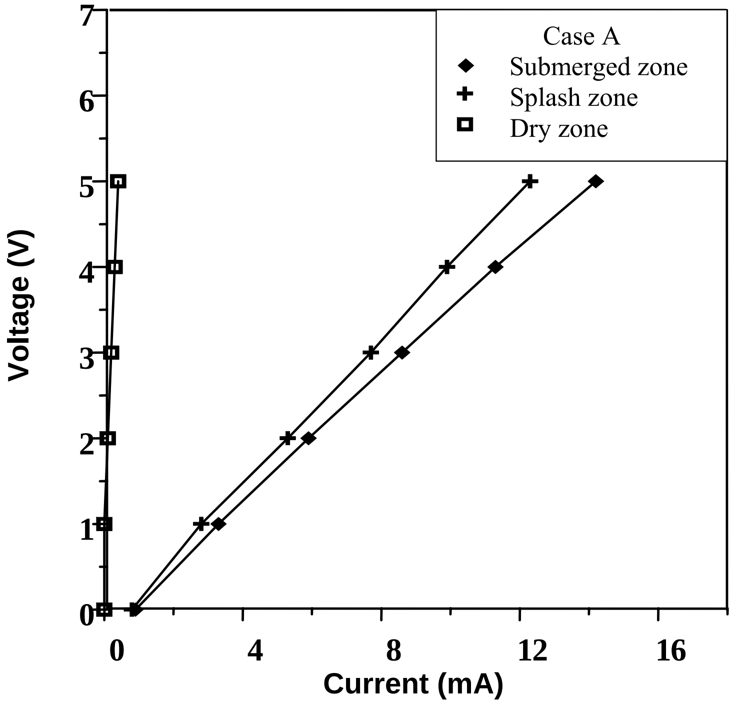
[4] Bjegovic, D., Mikulik, D., and Sekulic, D., "***Non- destructive Corrosion Rate Monitoring for Reinforced Concrete Structures***", article, http: // www. ndt. net, 2004.

[5] NACE standard, "***Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structure***", National Association of Corrosion Engineers, 1998.

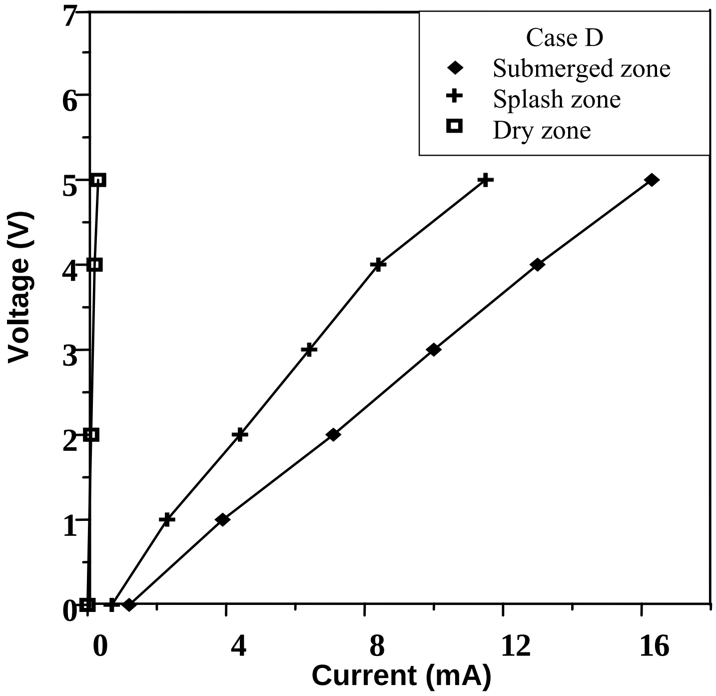
[6] Daily, S. F., and Somerville, S. D," ***Using Cathodic Protection to Control Corrosion of Masonry Clad Steel Framed Buildings***", Corr. Pro. Companies Incorporated, http: // www. Corr. Pro. com, pp. 1- 9, 2004.

[7] Gower, M. R., "***What is Cathodic Protection?***" Maunsel Ltd, 1997.

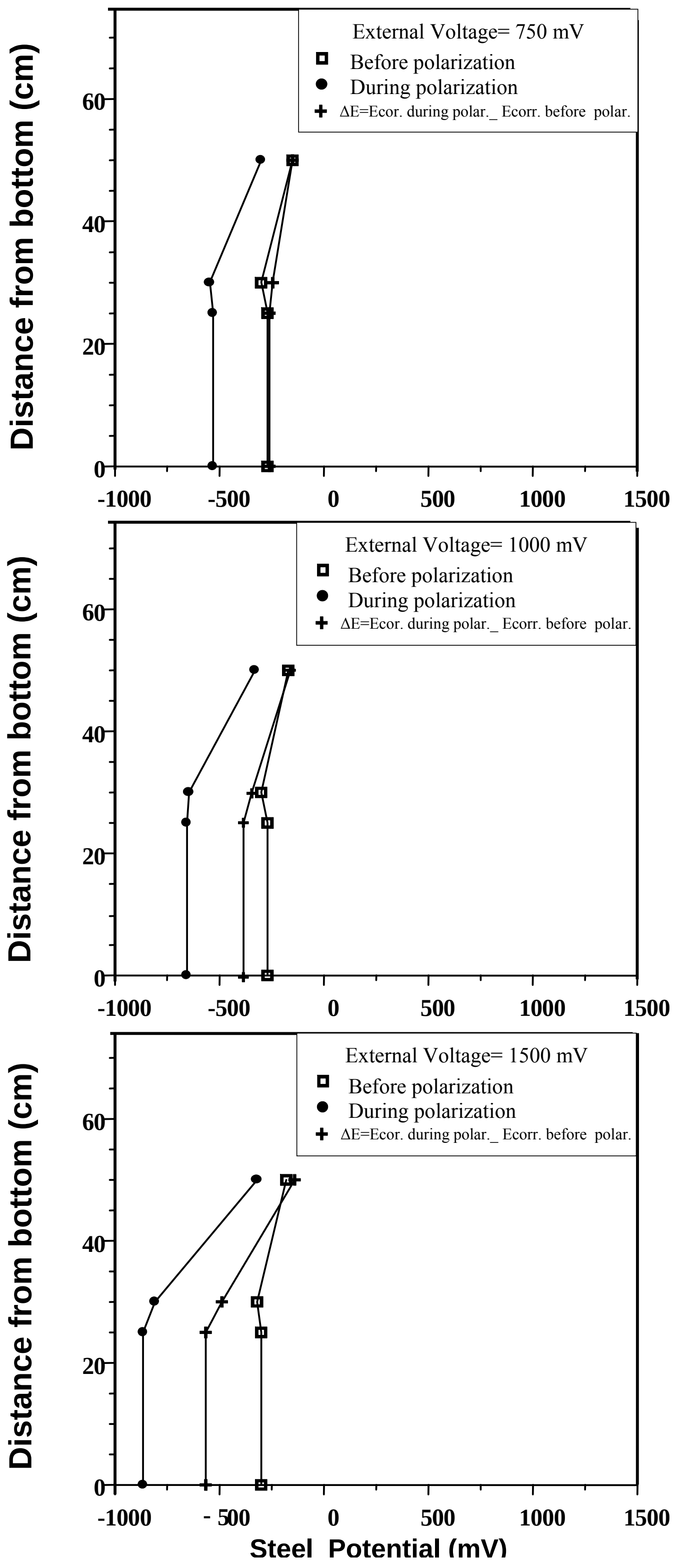
[8] Draft CEN Standard, "***Cathodic Protection of Steel in Concrete***", part I: Atmospherically Exposed Concrete, CEN TC262/SC2/WG2, May 1998.



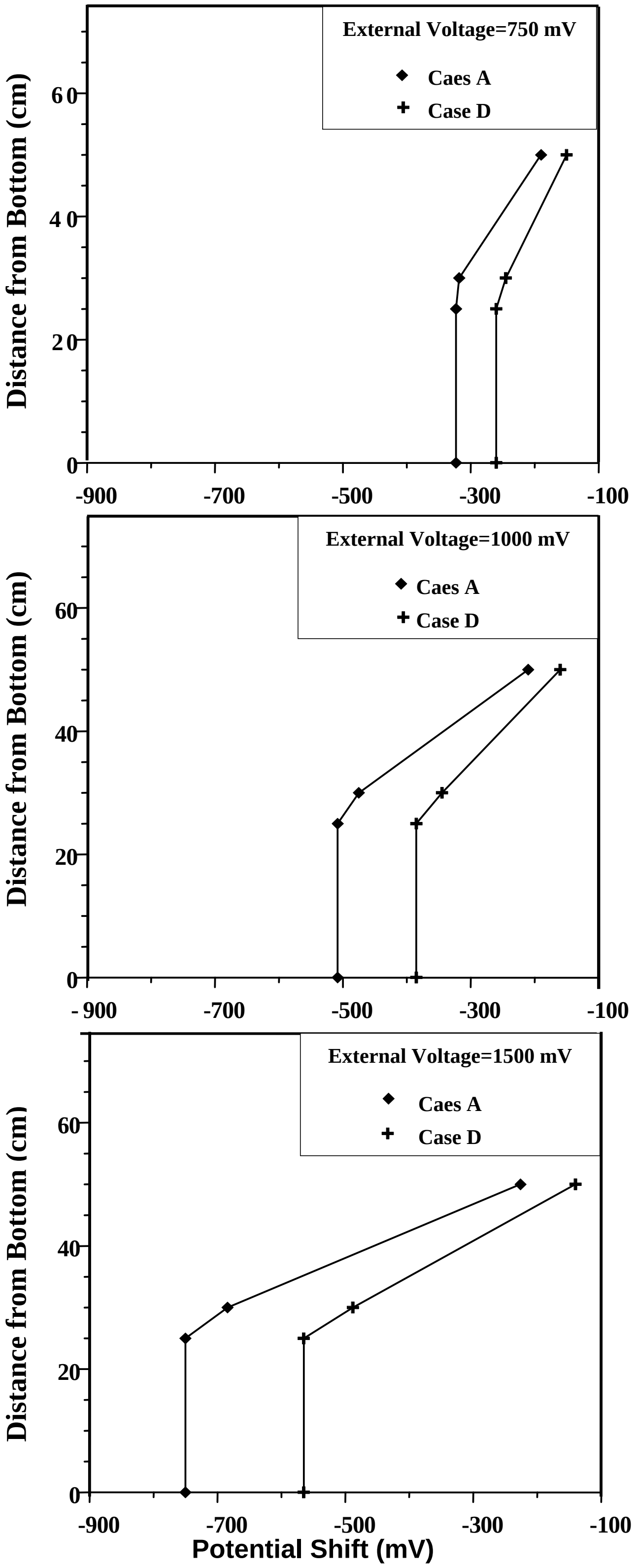
شكل (3) العلاقة بين الجهد والتيار للنماذج في المناطق المغمورة وشبة المغمورة والجافة .



شكل (4) العلاقة بين الجهد والتيار للنماذج في المناطق المغمورة وشبة المغمورة والجافة .


External Voltage= 750 mV
Before polarization
During polarization
ΔE=Ecor. during polar._ Ecorr. before polar.
External Voltage= 1000 mV
Before polarization
During polarization
ΔE=Ecor. during polar._ Ecorr. before polar.
External Voltage= 1500 mV
Before polarization
During polarization
ΔE=Ecor. during polar._ Ecorr. before polar.
Distance from bottom (cm)
0
20
40
60
-1000
-500
0
500
1000
1500
Steel Potential (mV)

شكل (5) التغير في الجهد للصاب قبل وبعد الاستقطاب للنماذج ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي.



الجهد الخارجي (ملي فولت)		750						1500					
النماذج		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
الاستقطاب الكاثودي، (ملي فولت) للمناطق	المغمورة	334	382	369	265	317	311	761	914	892	572	744	713
	شبه المغمورة	326	367	354	252	263	282	678	843	815	493	656	567
	الجافة	198	163	141	213	162	131	269	416	344	144	386	243
التيار (ملي أمبير) للمناطق	المغمورة	0. 89	1. 11	1. 2	1. 3	0. 99	0. 83	2. 18	2. 47	2. 12	1. 83	2. 18	1. 83
	شبه المغمورة	0.74	0. 88	0.81	0.58	0.54	0.47	0.68	1.95	1.68	1.14	1.27	0.95
	الجافة	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02
المساحة السطحية للصاب (سم^2)		1000	500	500	500	500	500	1000	500	500	1000	500	500
كثافة التيار (مايكرو أمبير/ سم^2)		1.69	3.78	3.18	1.7	3.1	2.6	3.79	9.31	7.43	6.2	7.2	5.3

شكل(6) التغير في انحراف الجهد للنماذج ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي المسلط.

جدول (3) تأثير المقاومة الكهربائية على قيم الاستقطاب الكاثودي والتيار الكهربائي لمناطق نماذج البحث.

جدول (4) تأثير المساحة السطحية للانود على قيم الاستقطاب الكاثودي والانودي في المناطق المغمورة فقط.

النماذج	المساحة السطحية للانود (سم^2)	الجهد الخارجي المسلط (ملي فولت)					
		750		1000		1500	
		الاستقطاب الكاثودي	الاستقطاب الانودي	الاستقطاب الكاثودي	الاستقطاب الانودي	الاستقطاب الكاثودي	الاستقطاب الانودي
A	400	-327	279	-511	497	-756	738
D	250	-265	341	-391	618	-568	933
B	400	-379	228	-604	398	-904	597
E	250	-314	294	-488	514	-729	767
C	400	-369	239	-593	412	-887	615
F	250	-308	297	-471	533	-699	796