السيطرة على التأكل لصلب التسليح

د. عبد الوهاب حسن خضر
مدرس
الكلية التقنية / بغداد

د. واثق عيسى مهدي
استاذ مساعد
الجامعة التكنولوجية

احمد حسن خضر
مدرس مساعد
الجامعة التكنولوجية

الخلاصـة :

يهدف المقال الى دراسة مستوى الاستقطاب الحاصل لصلب التسليح المدفون في كونكريت ذو مقاومة كهربائية مختلفة وعلاقته بالمساحة السطحية لكل من صلب التسليح وقطب الانود وتأثر ذلك بالجهد الخارجي المسلط. الاختبارات الكهربائية والكهروكيمياوية تتمثل باستقطاب الصلب كاثوديا ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي المسلط (1500, 1000, 750) ملي فولت لتحديد مقدار جهد نصف الخلية ومقدار الاستقطاب والجهد الفعلي وكمية التيار المار بالدائرة الكهربائية.

أشارت النتائج الى ان التدرج الرطوبي للنماذج أدى إلى حدوث جهد نصف خلية مختلف على طول صلب التسليح نتج عنه استقطاب كاثودي عالي في المناطق المغمورة بمحلول الفحص مقارنة مع الاستقطاب في المناطق الجافة ويزداد هذا الاستقطاب بزيادة الجهد الخارجي المسلط. كما أشارت النتائج إلى تأثر مستوى الاستقطاب بكثافة صلب التسليح المعبر عنه بالمساحة السطحية للصلب، حيث يقل مستوى الاستقطاب بزيادة كثافة صلب التسليح بثبوت الجهد الخارجي، ولزيادة مقدار الاستقطاب يتطلب زيادة المساحة السطحية للانود التي تؤدي إلى زيادة التيار الكاثودي المسبب للاستقطاب.

Corrosion Control of Steel Reinforcement

Dr. Abdul Wahab H. Khuder
Lecturer
Technical College-Baghdad

Dr. Wathik I. Mahdi
Assist. Prof.
University of Technology

Ahmed H. Khuder
Assist. Lecturer
University of Technology

Summary:

This paper aims to study 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 voltage, 750, 1000 & 1500 mV. Electrochemical and electrical measurements were made; these include half cell potential, degree of polarization, actual applied voltage and the flowing current.

The results indicate that the differential moisture content within each specimen has produced different potentials along the steel bars. Higher polarization has been associated with the submerged zone of the specimen where the electrical resistance is minimum. Whereas the degree of polarization is directly proportional with 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 increases with the decrease of the protected steel area and the increase of the area of the anode.

1.المقدمة:

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

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e \quad \ldots\ldots\ldots$$

ولحدوث التوازن الإلكتروني، فأن الإلكترونات الناتجة عن التفاعل الأنودي تستهلك في الطرف الاخر (1) 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 صلب 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 لسريان الأيونات [2, 1].

هناك أربع حالات لتأكل الحديد بالاعتماد على الواقع العملي:

حالة الخمول: وتحصل عند غياب العوامل التي تقلل من قيمة pH ، حيث يحصل تفاعل أنودي يعبر عنه بالمعادلتين (4) و (5).

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e^- \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

$$2Fe + 3H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 6H^+ + 6e^- \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

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 يتراوح من (200+) إلى (700–) ملي فولت. أما في حالة وجود الكلوريدات فأن حالة الخمول تمتاز بجهد سالب من (800–) إلى (1100–) ملي فولت.

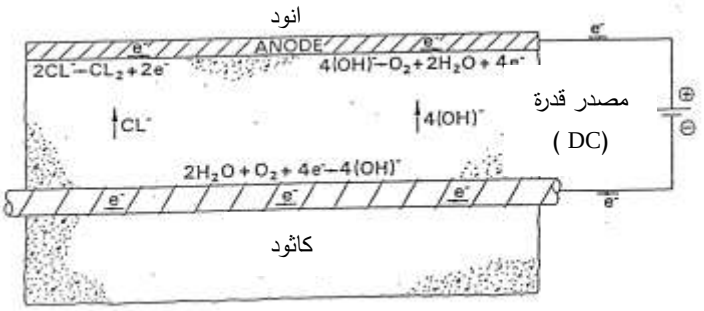
حالة التآكل التنقيري: وفيها يبدأ التآكل نتيجة تدهور موضعي في الطبقة الحامية للحديد وغالباً ماتكون هذه المنطقة صغيرة جداً مكونة الأنود الذي يشترك مع أقرب منطقة خمول على سطح صلب التسليح حيث يختزل عندها الأوكسجين لتكوين الكاثود المكمل لخلية التآكل. غالباً ما يحدث التنقر عندما تكون هناك كمية كافية من الكلوريدات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

حالة التآكل العام: ويحدث نتيجة فقدان عام للخمول 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.

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،[3 ,4] .

2 . الحماية الكاثودية لصلب التسليح:

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



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

ينتج عن تولد أيونات الهيدروكسيد الى زيادة في القلوية 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 والأنود مما ينتج عنه سريان تيار كهربائي نتيجة لوجود فرق في الجهد الكهربائي. يكون القطب المضحي أما من المغنيسيوم، الخارصين أو الألمنيوم، حيث يكون معدل التآكل عالي نسبياً بالإضافة إلى كون القدرة المسلطة قليلة. 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 المواد التي تتآكل بشكل بطئ جداً مثل التيتانيوم والنانيبيوم [6].

3. كفاءة الحماية الكاثودية لصلب التسليح:

لتحقيق حماية كاثودية مرضية للصلب فإنه يجب تحقيق واحد أو اكثر من المعايير التالية [8,7] :

1- يكون فرق جهد نصف الخلية اللحظي بعد قطع التيار، اكثر سالبيه من (720 –) ملي فولت نسبة إلى القطب المرجعي.

2 – لايقل مقدار الانخفاض الحاصل ما بين جهد نصف الخلية اللحظي وبين جهد نصف الخلية بعد 4 ساعات عن (100) ملي فولت.

3 – لايقل مقدار الانخفاض الحاصل ما بين جهد نصف الخلية اللحظي وبين جهد نصف الخلية بعد أكثر من 24 ساعة عن (120) ملي فولت.

4. النماذج المستخدمة:

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

الحالة A :

وتمثل النماذج التي يكون فيها طبقات صلب التسليح متصلة مع بعضها من الخارج، وترتبط هذه الطبقات بالطرف السالب من مصدر القدرة الخارجي لتمثل الكاثود بينما يربط الأنود بالطرف الموجب من مصدر 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 وتبعد 23 سم عن شبكة الأنود، بينما طبقة صلب التسليح القريبة من شبكة الأنود غير مرتبطة بالدائرة الكهربائية.

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

الحالة D :

وتكون مماثلة للنموذج (A) من حيث مساحة صلب التسليح وألابعاد لكنها تختلف بمساحة الأنود.

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 النموذج (G) ، غير أن الطبقة التي 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:

1.5 صلب التسليح:

لقد تم استخدام قضبان من الصلب كتسليح طولي ذات قطر 12 ملم وذات خواص مبينة في الجدول (1). صلب التسليح ربط إلى القطب السالب لمجهز القدرة. تمت الفحوصات الفيزيائية للصلب في المركز القومي للمختبرات والبحوث الإنشائية.

جدول (1) الخواص الفيزيائية لصلب التسليح.

الخواص	القيمة الفعلية
إجهاد الخضوع	451 ميكاباسكال
الإجهاد الأقصى	630 ميكاباسكال
الاستطالة	% 23.7

2.5 الأنود:

استخدمت شبكة من سبيكة البراص لتمثل قطب الأنود. التركيب الكيمياوي لسبيكة شبكة الانود مبين في الجدول (2)، تمت التحليلات الكيمياوية لسبيكة البراص في الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية. وثبتت شبكة الأنود على سطح النماذج. شبكة الانود ربطت إلى القطب الموجب لمجهز القدرة.

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

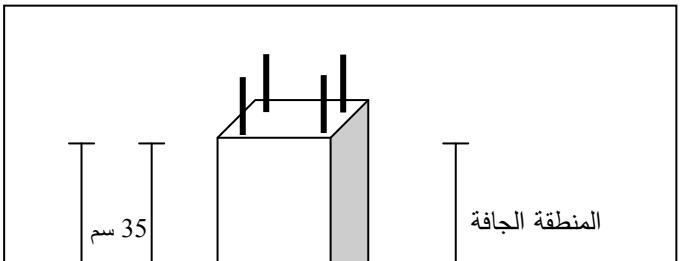
مواد الانود	التركيب الكيمياوي %									
	Zn	Fe	Si	Mn	As	Al	Ni	Sb	S	Cu
سبيكة البراص	30	.007	.0043	.0088	.005	.012	.0004	.0084	.0025	Rem.

6. تصميم خليط الكونكريت للنماذج:

صمم الخليط الكونكريتي للنماذج للحصول على مقاومة أنضغاط 35 نيوتن / ملم^2 بعمر 30 يوم، نسبة الخلط (نسبة وزنية) 1 : 2 : 4 (سمنت : رمل : حصى)، محتوى السمنت 348 كغم / م^3 ، نسبة الماء / السمنت 0.6 لجميع النماذج وكان مقدار الهطول الناتج (130 - 150) ملم.

7. الاستقطاب:

تم إجراء عمليات الاستقطاب الكاثودي لصلب التسليح باستخدام مجهز قدرة خارجي لتسليط جهد ثابت بالمستويات (750 ,1000 ,1500) ملي فولت. لغرض أخذ قراءات جهد نصف الخلية قبل وأثناء الاستقطاب على طول النموذج، فقد تم تقسيم النموذج إلى ثلاث مناطق، شكل (2)، بالاعتماد على المحتوى الرطوبي والمقاومة الكهربائية ودرجة التلوث بالكلوريدات وهذه المناطق هي ، المنطقة المغمورة بمحلول الفحص والمنطقة شبه المغمورة وهي المنطقة مابين المنطقة المغمورة والمنطقة الجافة والتي فرضت بأنها تساوي (10) سم فوق مستوى الغمر والمنطقة الجافة.



شكل (2) تفاصيل النموذج المستخدم في البحث.

8. النتائج والمناقشة:

1.8 المقاومة الكهربائية بين الكاثود والانود:

الأشكال (3) و(4) تبين المقاومة الكهربائية باستخدام تقنية التيار المتناوب للنماذج (D,A) حيث نلاحظ بأن المناطق المغمورة وشبه المغمورة تمتلكان مقاومة كهربائية قليلة مقارنة مع المنطقة الجافة لنفس النماذج والتي تمتلك مقاومة عالية، فمثلاً كانت المقاومة الكهربائية للنموذج (A) للمناطق المغمورة، وشبه المغمورة والجافة (11350,430,357) أوم على التوالي. أما بالنسبة للنموذج (D) فكانت (11330,457,340) أوم. وبسبب هذا الاختلاف في المقاومة الكهربائية على طول النموذج يتضح بأن انحراف جهد نصف 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 في المناطق المغمورة يكون واضحاً جداً في المستويات المختلفة من الجهد الخارجي بينما يكون غير واضح في المناطق الجافة ويرجع ذلك إلى اختلاف المقاومة الكهربائية حيث انه في المناطق المغمورة تكون المقاومة قليلة جداً بحيث أن أي زيادة في الجهد الخارجي تؤثر على مقدار الانحراف، بينما تكون المقاومة عالية في المنطقة الجافة أي أن هناك فقدان عالي في الجهد ، لذا فتغير الجهد الخارجي المسلط (1500,1000,750) ملي فولت لا تؤثر بشكل فعال على مدى انحراف الجهد لصلب التسليح. اضافة إلى ذلك، كانت المقاومة الكهربائية للنماذج (F , E ,C , B) تسلك نفس السلوك للنماذج (D,A) وكما مبين في الجدول (3).

لقد تبين من خلال نتائج البحث إلى أن الاتصال الكهربائي بين طبقات الصلب يحل مشاكل كون طبقة الصلب قريبة أو بعيدة من ألانود، لان التيار الذي يسري في الدائرة الكهربائية يكون ذو قيمة واحدة، حيث يسبب انحرافاً متماثلاً في المناطق المغمورة بينما يكون متقارباً في المناطق الجافة لجميع قضبان الصلب التي تعمل كاثوداً والواقعة ضمن منطقة واحدة كأن تكون مغمورة، شبه مغمورة أو جافة ولكن مقدار الانحراف يختلف من منطقة لأخرى تبعاً للمقاومة الكهربائية في تلك المنطقة. أن الجهد الخارجي المسلط يتوزع ما بين ألانود والكاثود حيث سبب انحراف جهد نصف الخلية للكاثود بقيمة سالبة بينما تكون موجبة لجهد نصف الخلية للانود وأن الفرق بينهما يساوي الجهد الفعلي المسلط على صلب التسليح والذي بدوره يساوي الجهد الخارجي المسلط في المناطق المغمورة بينما يكون اقل في المناطق الجافة والسبب في ذلك يرجع إلى اختلاف المقاومة الكهربائية.
يمكن حساب التيار الكلي المار بالدائرة لأي نموذج عن طريق مجموع التيارات المارة في مناطق النموذج :

$$\text{Total Current} = \frac{\Delta E_1}{R_1} + \frac{\Delta E_2}{R_2} + \frac{\Delta E_n}{R_n} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث أن:

n : عدد مناطق النموذج.

ΔE : انحراف جهد نصف الخلية (الاستقطاب الكاثودي) (ملي فولت).

R : المقاومة الكهربائية (أوم).

أن المناطق المغمورة تأخذ أكبر كمية من التيار، جدول (3)، لذلك كان مقدار الأستقطاب في المناطق المغمورة أكبر من المناطق الجافة ،لذلك يجب تقسيم مناطق الأنود المعرضة الى الحماية الكاثودية تبعاً للمقاومة الكهربائية للمنطقة.وهذا يعني أن كل عنصر يمكن أن يتكون من عدة مناطق كهروكيمياوية لمنع حصول فرط الحماية في المناطق ذات المقاومة الكهربائية القليلة مثل المناطق المغمورة عند وصول الصلب في المناطق الجافة الى الحماية المطلوبة.

2.8 تأثير المساحة السطحية للصلب على مستوى الاستقطاب:

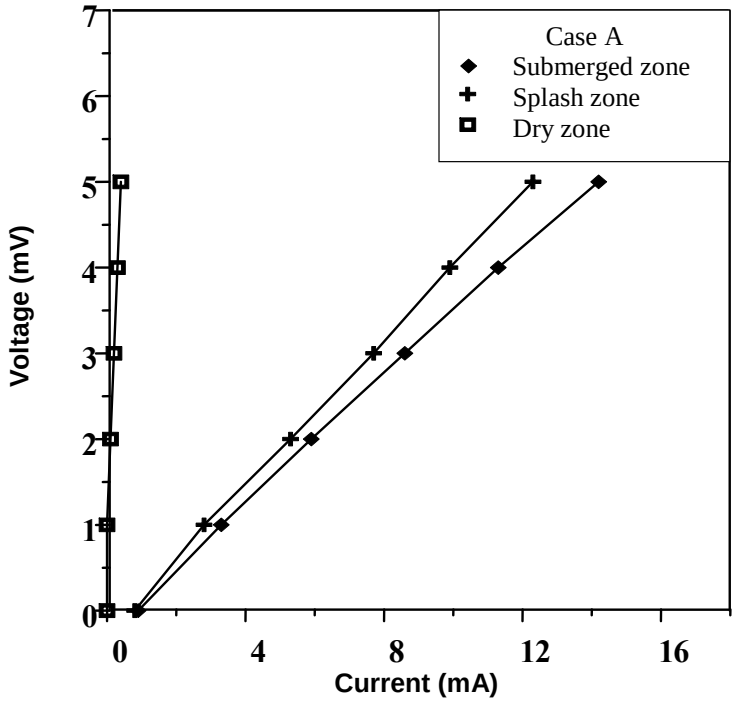
المساحة السطحية للصلب هي مدى كثافة صلب التسليح. أن تأثير المساحة السطحية للصلب على درجة الاستقطاب لفرق جهد معين تتضاءل كلما زادت المقاومة الكهربائية ويكون تأثير المساحة في أعلى مستوياته في المناطق المغمورة بينما تتضاءل في المناطق الجافة.

الجدول (3) يبين بأن هناك علاقة واضحة بين كثافة التيار ومقدار الاستقطاب، حيث يزداد مقدار الاستقطاب كلما زادت 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 (B , C) 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 للحالات (D ، E ، F).

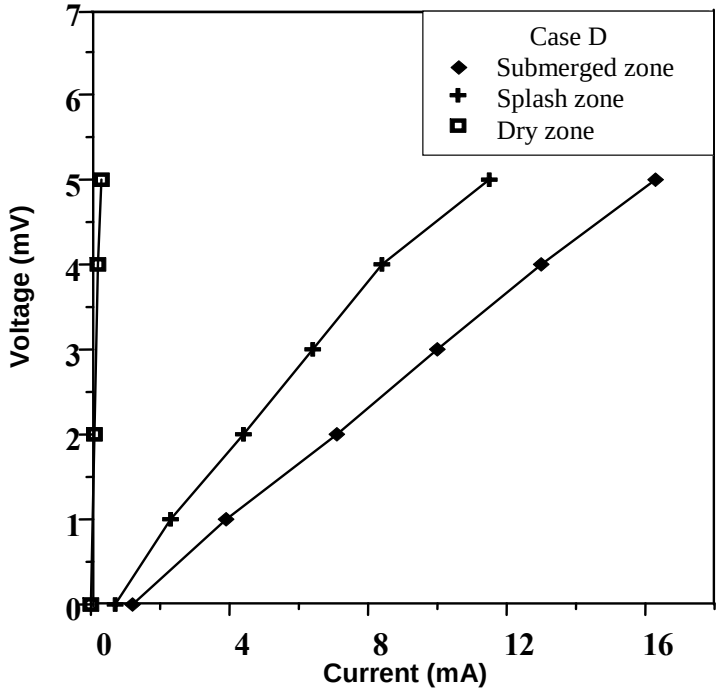
3.8 تأثير المساحة السطحية للانود على الاستقطاب الكاثودي:

للمساحة السطحية للانود تأثير مهم على مقدار الاستقطاب الكاثودي الحاصل في الصلب حيث تبين 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 للنموذج (A) أكبر سالبيه من النموذج (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 للنموذج (A) أكبر من النموذج (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

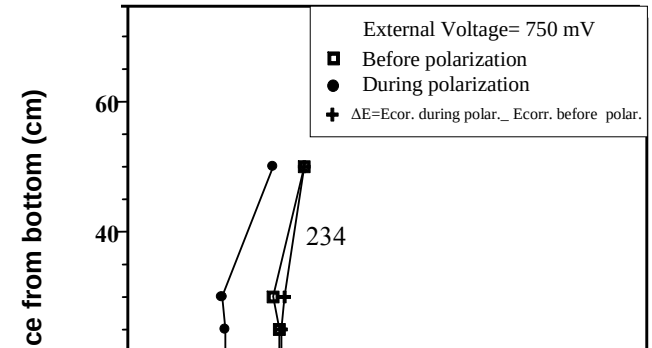
الخارجي تؤدي إلى زيادة التيار المار بالدائرة الكهربائية والذي ينعكس بدوره على زيادة كثافة التيار الكاثودي المسبب للاستقطاب.



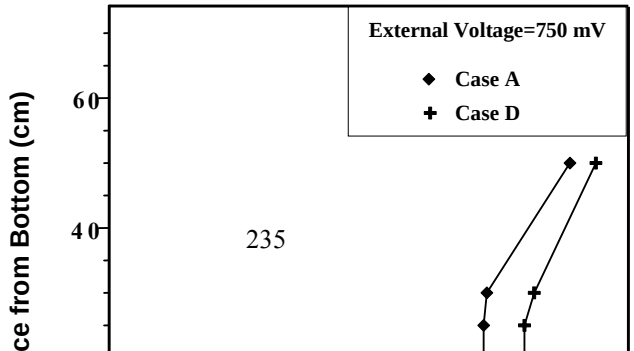
شكل (3) العلاقة بين الجهد والتيار للنماذج في المناطق المغمورة وشبة المغمورة والجافة .



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



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



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

جدول (3) تأثير المقاومة الكهربائية على قيم الاستقطاب الكاثودي وكثافة التيار لمناطق النماذج.

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 للصلب (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

جدول (4) تأثير المساحة السطحية للانود على قيم الاستقطاب الكاثودي والانودي للنماذج.

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

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 قليل عند ازدياد المقاومة الكهربائية.

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

3- يمكن حساب التيار الكلي المار بالدائرة الكهربائية للنظام من خلال مجموع التيارات المارة والذي يمكن من خلاله معرفة مقدار التيار الذي تحتاجه كل منطقة لغرض حمايتها كاثودياً.

4- يجب تقسيم مناطق الانود تبعاً للمقاومة الكهربائية وجهد نصف الخلية لغرض تطبيق الحماية الكاثودية على كل جزء بشكل منفصل لمنع حصول فرط الحماية في النظام.

5- يقل مقدار الاستقطاب الكاثودي بزيادة كثافة صلب التسليح المعبر عنه بالمساحة السطحية للصلب، كما يزداد الفرق في مقدار الاستقطاب عند زيادة فرق الجهد الخارجي المسلط.كما يزداد مقدار الاستقطاب الكاثودي بزيادة المساحة السطحية للانود.

10.المصادر:

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

[2] Scully, J. C., "*The Fundamental of Corrosion*", Bergmann 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.

[4] Bjegovic, D., Mikulik, D., and Sekulic, D., "*Non- Destructive Corrosion Rate Monitoring for Reinforced Concrete Structures*", 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*", Corrosion Protection Companies Incorporated, 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, May 1998.