تأثير الخواص الكهروكيميائية والفيزياوية للخرسانة المسلحة في تصميم الحماية الكاثودية

Dr.Hisham K.Ahmed * Dr.Hisham H. Hamed**
Haider M. Uelawy***
Received on: 25/12/2006
Accepted on: 10/6/2007

Abstract

The design aspect of cathodic protection of steel reinforcement embedded in concrete; still implies a great deal of uncertainties, assumptions and specifications. Important features, such as design criteria, current distribution, and others are, as yet beyond standardization.

The main aim of this research is to study relationship between the induced level of polarization and the area of the embedded steel, area of anode, the distance between the cathode and anode and the level of applied external voltage. The experimental program included preparing 12 reinforced concrete specimens with dimensions 20 x 30 x 60 cm. The specimens were partially submerged in 3.5% sodium chloride solution. Various electrochemical and electrical measurement were carried out on polarized the specimen using different external voltages.

The results indicate differential moisture content within each specimen has produced different potentials along the steel bars. Greater polarization has always been associated with the submerged portion of the specimen.

The results show that to achieve efficient design, the protected area should be divided into discrete electrochemical zones depending on the concrete resistance and steel potential.

Influence of Electrochemical and Physical Characteristics of Reinforced Concrete on the Design of Cathodic Protection

الخلاصة:

ان تصميم انظمة الحماية الكاثودية للمنشآت الخرسانية المسلحة بقي محكوماً بأعتبارات عملية ويشمل على قدر كبير من الأفتراض والتوقع ولازال العديد من المواضيع المهمة كمعايير الحماية وتوزيع التيار... الخ مجالاً لأختلاف الآراء كما ان جزء منها لا يخضع لنظام التقييس.

ان الغرض الرئيسي من هذا البحث هو دراسة مستوى الأستقطاب الحاصل في حديد التسليح المطمور في خرسانة ذات مقاومة كهربائية مختلفة وعلاقته بالمساحة السطحية وكل من حديد التسليح وقطب الآنود والمسافة بينهما وتأثير ذلك بالجهد الخارجي المسلط. ويتضمن المنهاج العملي اعداد (12) نموذجاً مسلحاً بأبعاد 20 x 30 x 60 سم، وتم تعريض النماذج جزئياً بمحلول كلوريد الصوديوم بتركيز 3.5%. وقد تم إجراء أختبارات كهربائية وكهروكيميائية تتمثل بأستقطاب الحديد كاثودياً لمستويات مختلفة من الجهد الخارجي.

لقد بينت النتائج بان التدرج الرطوبي للنماذج ادى الى حصول اختلاف في جهد نصف الخلية على طول حديد التسليح نتج عنه استقطاب كاثودي عالي في المناطق المغمورة كما اظهرت النتائج بانه من الضروري تقسيم المنطقة المراد حمايتها كاثودياً تبعاً للمقاومة الكهربائية وجهد نصف الخلية.

* Building and Construction Engineering Department

** Ministry of Science and Technology

*** University of Dhe Qur

https://doi.org/10.30684/ etj.29.6.13
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

المقدمة:

يعتبر التآكل من المشـاكل الرئيسـة التى تواجه الصناعة بشكل عام وتشكل نسـبة خسائر لايمكن تجاهلها من الأقتصاد القـومي للدول، ولقد تفاقمت المشاكل التي يسببها التآكل مع تقدم الصناعة وأزدياد استهلاك المعادن، إذ تشير الإحصائيات الأخيرة في الولايات المتحدة الى عن الخسائر السنوية تقدر بـ(400) مليار دولار نتيجة للتآكل بصورة عامة وفي المنشآت الخرسانية بمقدار 25% من هذه الخسائر[1،2].

يعتبر التآكل في حديد التسليح السبب الرئيسي في تلف المنشآت الخرسانية المسلحة، كما ان هناك تأثيراً مهماً للعوامـل الطبيعيـة ووجود الكلوريدات على معدل التآكل بالأضافة الى التشققات في الخرسانة والتيارات الشـاردة (Stray Currents)[3]. ان الزيـادة الحجميـة لنواتج التآكل قد تصل الى 600% من الحجـم الأصلي تبعـاً للظـروف المحيطـة بحديـد التسليح[1،4]. هذه الزيادة ينـتج عنهـا تشـقق وتشظي للخرسانة وكذلك فقدان التلاصق بينها وبين الحديد بالأضافة الى نقصان في مسـاحة مقطع الحديد، حيث لذلك أهتمام خـاص فـي المنشآت الخرسانية مسبقة الجهد[5].

تعتبـر آيونـات الكلوريـد السـبب الرئيسي في تآكل حديد التسليح متى ما تـوفر كل من الأوكسجين والرطوبـة وحتـى فـي الظـروف القلويـة العاليـة، حيـث تكـون الكلوريدات قادرة على تحطيم طبقة الخمـول (Passivity layer) وزيـادة التوصـيلية الكهربائية[6]. ان مستوى آيون الكلوريد الحرج اللازم لبدء التآكل يكون ما بين 0.4 الـى 1% من وزن الأسمنت وفي المنشـآت الخرسـانية مسبقة الجهد حيث يكون محتوى الكلوريد لبدء التآكل 0.2% من وزن الأسـمنت[7]. وهنـاك بحوث تشير الى ان نسبة آيون الكلوريد/آيـون الهيدروجين تكون مقياس أكثـر دقـة لخطـر التآكل وان القيمة الحرجة لها تسـاوي 0.6[8].

نتيجة للخسائر التي يسـببها التآكـل ولأدراك حجم المشاكل المتعلقـة بالخرسـانة المسلحة فقد لجأ المختصون الى مواجهة هـذه المشاكل عن طريق تقييم المنشآت الخرسـانية واقتراح الصيانة المناسبة لها.

من انظمة الصـيانة الحديثـة هـي الحماية الكاثودية والتي أثبتت من أكثر طـرق الحماية فعالية في أيقاف عملية التآكل وعند أي نسبة من معدلاتها وتعتبر اقتصادية في العديـد من المنشآت وخاصة تلـك المعرضـة الـى ظروف قاسية، ولايقتصر تطبيقها في السيطرة المبكرة على معدل التآكل ولكنها تستخدم ايضاً للمنشآت الخرسانية الجديدة للسيطرة المبكـرة على تآكل الحديد عندما يتوقع وجود مثل هـذا الخطر[9]. لذلك يكون المبـدأ الأساسـي مـن أجراء الصيانة للمنشآت المتضررة هو الحد من القوى المحركة للتآكل الكهروكيميـائي والتـي تتضمن أيقاف التفاعـل الآنـودي أو أيقـاف التفاعل الكاثودي او أيقاف الأتصال الكهربائي. وهناك بعض البحوث تناولت العلاقة بين التآكل وبين العديـد مـن المتغيـرات، كالمقاومـة الكهربائية النوعية والمساحة السطحية لحديـد التسليح والآنود[11، 10].

ان الهدف الرئيسي للبحث هو دراسة المساحة السطحية لحديد التسليح وقطب الآنود والمسافة بينهما ودرجة التلـوث بالكلوريـدات وتأثيرها على كفاءة الحماية الكاثودية وكـذلك دراسة تأثيرات التيارات الشاردة على السـلوك الكهروكيميائي للحديد الغير معرض للحمايـة الكاثودية.

البرنامج العملي:

نماذج الفحص

يتضمن البرنامج العملـي تحضـير نماذج فحص بأبعاد 200 x 300 x 600 ملـم بأستخدام قوالب خشبية خاصة، كما استخدمت قضبان لتسليح الخرسانة قطر 12 ملم وطـول 650 ملم. قسمت نماذج الفحص الى مجموعتين تختلف الواحدة عن الأخرى بمسـاحة الآنـود التي كانت 380، 240 سم^2، بينما تختلف نماذج المجموعة الواحدة بعدد قضبان حديد التسـليح والتي تمثل الكاثود والمعبر عنهـا بالمسـاحة السطحية وكذلك تختلف بالمساحة بين الكـاثود والآنود. الشكل (1) والجدول (1) يوضـحان حالات وتفاصيل النماذج المستخدمة.

المواد الأولية

* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

ب – جهد نصف الخلية بعد الأستقطاب – ويقاس ايضاً لكل من الآنود والكاثود خلال عملية الأستقطاب والتي تساعد على مرور التيار الخارجي على سطح الحديد مما يؤدي الى انحراف جهد نصف الخلية الى قيمة أكثر سالبية من جهد نصف الخلية الأبتدائي ولجميع مناطق الآنود الموضحة في الشكل (2).

جـ – كثافة التيار – تم حساب كثافة التيار وذلك بقسمة التيار المار بالدائرة الكهربائية مقسوماً على المساحة السطحية لحديد التسليح، حيث تم قياس التيار بواسطة جهاز ملتي ميتر متعدد الأغراض نوع [ALDA-DVD 890G] وذلك بوضع الجهاز على طريق الدائرة الكهربائية.

ء – المقاومة الكهربائية – تم قياس المقاومة الكهربائية وذلك باستخدام تقنية التيار المتناوب لقياس المقاومة الكهربائية للخرسانة بتردد مقداره 1000 هرتز بأستخدام موجة الجيب وذلك بتسليط جهد متزايد من مصدر القدرة بشكل تدريجي بدء من الصفر بحيث يكون مقدار الزيادة في كل مرحلة مساوياً الى 500 ملفولت ولغاية الوصول الى 5000 ملفولت مع قراءة التيار المار بالدائرة خلال كل مرحلة ثم رسم العلاقة بين الجهد والتيار.

مناقشة النتائج:

المقاومة الكهربائية للخرسانة

يبين الشكل (4) المقاومة الكهربائية للنماذج الخاصة بالحالتين F, A حيث يلاحظ بأن المناطق المغمورة وشبه المغمورة تمتلكان مقاومة كهربائية ضعيفة مقارنة مع تلك في المناطق الجافة والتي تمتلك مقاومة عالية، حيث كانت المقاومة الكهربائية لنماذج الحالة الجافة (A) للمناطق المغمورة وشبه المغمورة والجافة 367 ,420 ,11000 أوم على التوالي، أما بالنسبة للنماذج الخاصة بالحالة (F) فكانت 323 ,435 ,11000 أوم. ونتيجة لهذا الأختلاف في المقاومة الكهربائية على طول النموذج، يتضح بأن انحراف جهد نصف الخلية (□E) للمناطق الجافة يكون أقل سالبية من المناطق المغمورة وشبه المغمورة، وعليه فأن الشكلين (5 ,6) تبين ذلك عملياً ولجميع مستويات الجهد الخارجي وكما ان انحراف جهد نصف الخلية

ان المواد الأولية المستعملة لتحضير النماذج الخرسانية مكونة من اسمنت بورتلاندي اعتيادي من انتاج شركة الأسمنت العراقية (معمل كبيسة) ومطابق للمواصفات العراقية رقم 5 لسنة 1984 كما استعمل رمل طبيعي من مقالع الأخيضر يحتوي على نسبة قليلة من املاح الكبريتات قدرها 0.1% واظهر التحليل المنخلي وقوع الرمل ضمن المنطقة الثالثة [zone(3)] واستعمل حصى بمقاس اقصى 19 ملم. وتم ايضاً استخدام قضبان تسليح مشوهة قطر 12 ملم حيث كانت القضبان نظيفة لدرجة عالية من الصدأ استعملت نسبة خلط ثابتة (3.46:1.86:1) ونسبة ماء/سمنت 0.55 لجميع النماذج وكان الهطول بمقدار يتراوح من 120 الى 140 ملم.

ظروف التعريض

بعد فترة المعالجة البالغة 28 يوم، غمرت النماذج الى عمق 25 سم من طول النموذج البالغ 60 سم في محلول كلوريد الصوديوم بتركيز 3.5%

الأستقطاب

جرت عملية الأستقطاب الكاثودي لحديد التسليح باستخدام مجهز قدرة خارجي لتسليط جهد ثابت المستويات (1500, 1000, 600 ملفولت لغرض قياس جهد نصف الخلية قبل وأثناء الأستقطاب وعلى طول النموذج والذي تم تقسيمه الى ثلاث مناطق كما مبين في الشكل (2)، بالأعتماد على المحتوى الرطوبي والمقاومة الكهربائية للخرسانة ودرجة التلوث بالكلوريدات.

نظام الآنود

استخدمت شبكة من اسلاك سبيكة البراص تم تشكيلها بشكل هندسي موضح في الشكل (3) عن طريق اللحام بالأوكسجين من الأسلاك التي يكون سمكها 2.5 ملم ووضعت على سطح الخرسانة لتمثل مادة الآنود.

القياسات:

أ – جهد نصف الخلية الأبتدائي – يقاس لكل من الآنود والكاثود نسبة الى القطب المرجعي (CSE) (من نوع قطب النحاس المغمور في محلول مشبع من كبريتات النحاس وبموجب المواصفة (ASTM C-876] قبل عملية تسليط الجهد الخارجي وعلى طول النموذج في المناطق المغمورة، شبه المغمورة والجافة.

* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

التسليح على درجة الأستقطاب لفرق جهد معين تتضاءل كلما زادت المقاومة الكهربائية للخرسانة، ففي الوقت الذي يكون فيه تأثير المساحة في أعلى مستوياته في المناطق المغمورة بينما تتضاءل في المناطق الجافة.

تأثير المساحة السطحية للآنود على كفاءة الأستقطاب الكاثودي

للمساحة السطحية للآنود تأثير مهم على مقدار الأستقطاب الكاثودي الحاصل في حديد التسليح، حيث يتضح من الجدول (2) بأنه عند تسليط جهد خارجي معين، فأن مقدار الأستقطاب الكاثودي الحاصل في النماذج التي تمثل الحالات B', B, A أكثر من مقدار الأستقطاب الحاصل للنماذج التي تمثل الحالات G', G, F بالتتابع وخصوصاً عند الجهود الخارجية العالية. وسبب ذلك يعود الى زيادة المساحة السطحية للأنود.

يبين الشكل (8) بأن تسليط جهد مقداره 600 ملفولت تجعل حديد التسليح في المناطق المغمورة للنماذج الخاصة بالحالة (A) أكثر سالبية من تلك الخاصة بالحالة (F) بمقدار 63 ملفولت بينما عند تسليط جهد خارجي بمقدار 1500 ملفولت يجعل الفرق يصل الى 185 ملفولت. ان سبب ذلك يعود الى ان مساحة الآنود لنماذج الحالة (A) أكبر من مساحة الآنود للنماذج الخاصة بالحالة (F) والتي كانت 380 ,240 سم^2 على التوالي، كما يتضح من الشكل بأن تأثير مساحة الآنود على مقدار الأستقطاب لحديد التسليح في المناطق الجافة هو أقل تأثيراً عما هو عليه في المناطق المغمورة.

ولنفس الأسباب اعلاه يلاحظ من الجدول (2) بأن مقدار الأستقطاب في النماذج التي تمثل الحالتين B', B هو أكثر سالبية من النماذج التي تمثل الحالتين G', G بالتتابع وبنفس النسبة أعلاه تقريباً. يرجع السبب في تأثر الأستقطاب بالمساحة السطحية للآنود الى ان زيادة المساحة للآنود بثبوت المساحة السطحية للحديد والجهد الخارجي تؤدي الى زيادة التيار المار بالدائرة الكهربائية والذي ينعكس بدوره على زيادة كثافة التيار الكاثودي المسبب للأستقطاب وكما مبين ذلك في جدول (3).

المسافة بين الآنود والكاثود

في المناطق المغمورة يكون واضحاً جداً في المستويات المختلفة من الجهد الخارجي بينما يكون غير واضح في المناطق الجافة وسبب ذلك يعود الى اختلاف المقاومة الكهربائية حيث انه في المناطق المغمورة تكون المقاومة ضعيفة جداً (أي توصيلية كهربائية عالية) بحيث ان أي زيادة في الجهد الخارجي تؤثر على مقدار الأنحراف، بينما تكون المقاومة عالية في المنطقة الجافة (أي فقدان عالي في الجهد)، لذا فتغير الجهد الخارجي بالمستويات الموجودة (600 ,1000 ,1500) ملفولت لا تؤثر بشكل فعال على مدى انحراف حديد التسليح، بالأضافة الى ذلك، كانت المقاومة الكهربائية للنماذج الخاصة بالحالات G', G, B', B تسلك نفس السلوك للنماذج الخاصة بالحالات F, A .

نتائج التيار الكلي التي تم الحصول عليها موضحة في الجدول (2) و (3) حيث يتبين بأن قيم التيار مختلفة على طول النموذج في المناطق المغمورة وشبه المغمورة والجافة بثبوت الجهد الخارجي المسلط وان المناطق المغمورة تأخذ أكبر كمية من التيار، لذلك كان مقدار الأستقطاب في المناطق المغمورة أكبر من المناطق الجافة. وهذه النتائج مطابقة لما أثبته Pedeferri[12]. حيث أشار بأن اختلاف المقاومة الكهربائية على مستويات مختلفة من الخرسانة يجعل من الصعب الحصول على توزيع منتظم للتيار. يستنتج من النتائج المستحصلة بأن من الضروري تقسيم مناطق الآنود المعرضة الى الحماية الكاثودية تبعاً للمقاومة الكهربائية للمنطقة. وهذا يعني ان كل عنصر إنشائي يمكن ان يتكون من عدة مناطق كهروكيمياوية لمنع حصول فرط الحماية في المناطق ذات المقاومة الكهربائية القليلة.

تأثير المساحة السطحية لحديد التسليح على مستوى الأستقطاب

يوضح الشكل (7) بأنه كلما زادت المساحة السطحية للحديد كلما قل مقدار الأستقطاب وكذلك يبين الشكل بأنه كلما زاد فرق الجهد الخارجي المسلط كلما زاد الفرق في مقدار الأستقطاب وكذلك يلاحظ بأن فرق الأستقطاب للحالات B', B, A حوالي 50 ملفولت عندما يكون الجهد الخارجي بمقدار 600 ملفولت، ومن ناحية أخرى فالجدول (2) يوضح بأن تأثير المساحة السطحية لحديد

* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

يبين الشكلان (9, 10) بأن هناك تأثير ملحوظ على انحراف جهد نصف الخلية لحديد التسليح المتصل في الدائرة الكهربائية (الكاثود) والذي يبعد عن الآنود بمسافة (5, 15) سم للحالتين B', B على التوالي، ويلاحظ ايضاً من الشكل (9) بأن لأختلاف المسافة بين الآنود والكاثود تأثير ضئيل على انحراف جهد نصف الخلية وسبب ذلك يعود الى التوصيلية الكهربائية العالية للخرسانة المغمورة والمشبعة بالأملاح. اما في المناطق الجافة فكان هناك تأثير واضح للمسافة بين الكاثود والآنود على انحراف جهد نصف الخلية وحسب ما موضح في شكل (10)، حيث توضح النتائج بأن الأنحراف الحاصل لجهد نصف الخلية يكون ذو قيم مختلفة عند تسليط جهد خارجي ذو قيم ثابتة، حيث كان مقدار الأنحراف لطبقة حديد التسليح القريبة من الآنود أكثر سالبية من تلك البعيدة عن الآنود وكان الفرق في الأنحراف للحالتين B', B (23, 40, 70) ملفولت عند تسليط جهد خارجي (600, 1000, 1500) ملفولت على التوالي.

يبين الشكلان (11, 12) تأثير المسافة بين الآنود وطبقة حديد التسليح التي تمثل الكاثود لنماذج الحالتين G', G حيث كانت (25, 5) سم بالتتابع والتي توضح بأن الفرق في انحراف جهد نصف الخلية للحديد الموجود في المناطق الجافة يزداد بأزدياد المسافة عن الآنود، حيث كان الفرق (30, 75, 143) ملفولت عند تسليط جهد خارجي (600, 1000, 1500) ملفولت على التوالي.

التيارات الشاردة

يلاحظ من الشكل (13) بأن الربط بين الآنود وطبقة حديد التسليح المتمثلة بالقضبان (2, 3) يؤثر على جهد نصف الخلية بطبقة حديد التسليح الغير متصلة والمتمثلة بالقضبان (1, 4) حيث سبب انحرافات مختلفة على طول حديد التسليح حيث كانت تساوي في المناطق المغمورة (-5, -30, -85) ملفولت عندما يكون الجهد الخارجي (600, 1000, 1500) ملفولت على التوالي.

الأستنتاجات:

في ضوء النتائج التي تم الحصول عليها من البحث يمكن تقديم الأستنتاجات التالية:

1- يزداد مقدار الأستقطاب الحاصل في حديد التسليح المطمور في الخرسانة والمحمي كاثودياً بزيادة الجهد الخارجي ويكون في أعلى مستوياته عندما تكون المقاومة الكهربائية للخرسانة قليلة بينما يكون ذو تأثير أقل كلما تزداد المقاومة الكهربائية للخرسانة.
2- يتساوى الجهد الفعلي المسلط ما بين الآنود والكاثود مع الجهد الخارجي المسلط في المناطق ذات التوصيلية العالية كالمناطق المغمورة للنماذج بينما يكون أقل في المناطق الجافة.
3- من الضروري تقسيم مناطق الآنود المعرضة الى الحماية الكاثودية تبعاً للمقاومة الكهربائية وجهد نصف الخلية لغرض تطبيق المعايير التصميمية على كل جزء بشكل منفصل لمنع حصول فرط الحماية والتي تسبب فشل عمل النظام.
4- يقل مقدار الأستقطاب الكاثودي بزيادة كثافة حديد التسليح بثبوت الجهد الخارجي، ولزيادة مقدار الأستقطاب يتطلب زيادة المساحة السطحية للآنود التي تؤدي الى زيادة التيار الكاثودي المسبب للأستقطاب.
5- وجود تأثير ضئيل للمسافة (15, 25) سم بين الآنود وطبقات حديد التسليح على مستوى الأستقطاب في المناطق ذات التوصيلية العالية مقارنة مع المسافة (5) سم، بينما يكون التأثير واضحاً جداً في المناطق ذات المقاومة الكهربائية العالية كالمناطق الجافة، حيث يقل مقدار الأستقطاب بزيادة المسافة.
6- من الضروري وجود اتصال كهربائي جيد بين قضبان حديد التسليح لكي يمنع من حصول التآكل للطبقات الغير متصلة بسبب التيارات الشاردة.

المصادر:

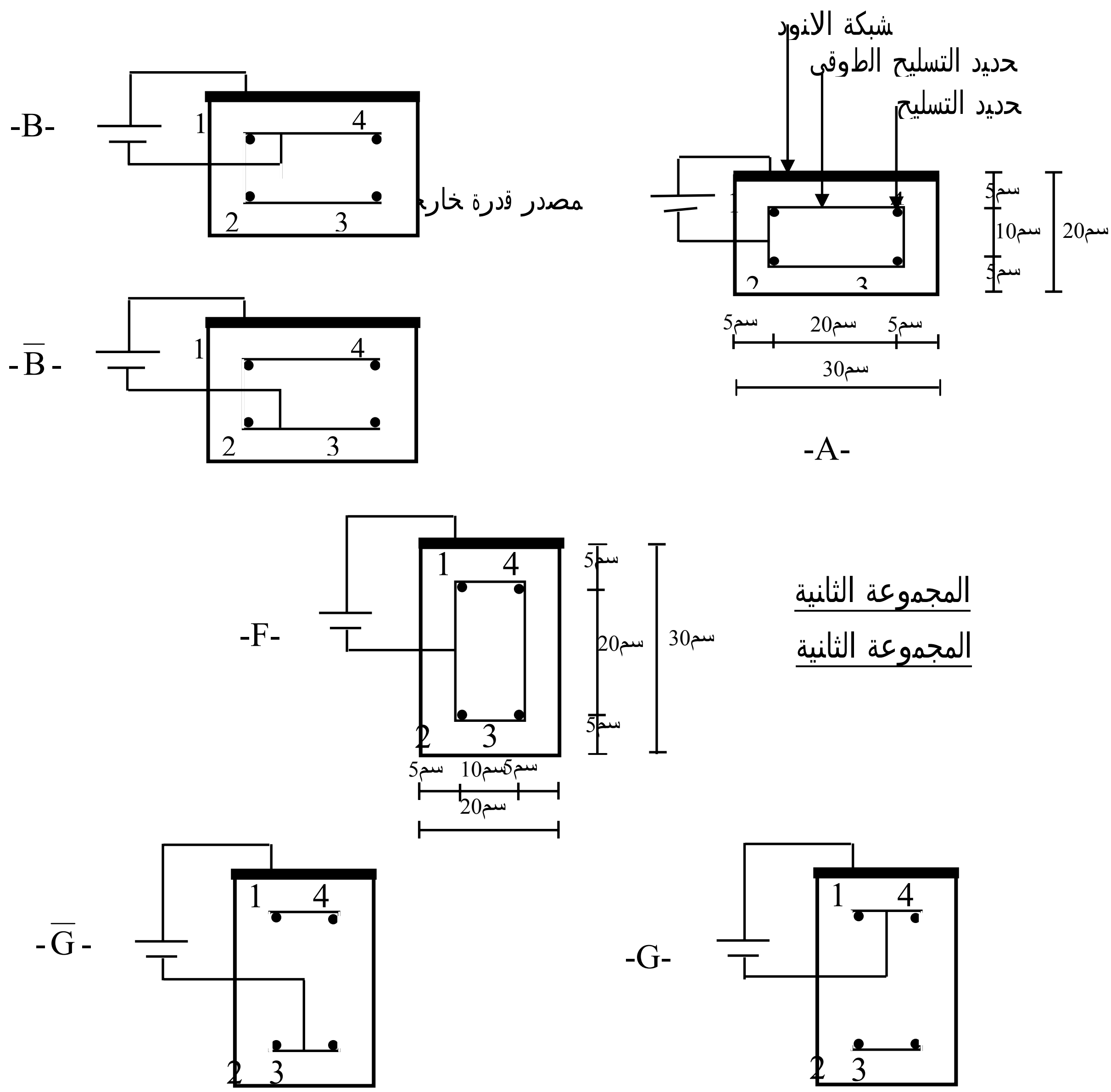
* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

1- Trethewey, K.R. and Chamberlain, "Corrosion for Science and Engineering", Longman, England, 2nd edition, 1995, PP.5.
2- Broomfield, J.P., "Permonet Corrosion Monitoring for New and Existing Reinforced Concrete Structures", Monosys Magazine, Guide to Monitoring, http//www.aguide.new, 2001,
3- ACI committee 222, "Corrosion of Metals in Concrete", ACI Journal, Vol.82, No.1, 1985,PP. 3-31.
4- Weyers, R.E., 1998, "Modeling the Time-to-CorrosionCracking in Chloride Contaminated Reinforced Concrete Structures", ACI Materials Journal, Vol.95, No.6, PP. 675-681.
5- Gonzalez, J.A., Feliu, S., Rodriguez, P., Ramirez, E. Alonso, C. and Andrade, C., "Some Questions on the Corrosion of Steel in Concrete. Part 1: When how and how much steel corrodes", Materials and Structures, Vol. 29, Jan-Feb, 1996, PP. 40-46.
6- Hague, M.N. and Kayyali, O.A., "Aspects of Chloride Ion Determination in Concrete", ACI Materials Journal, Vol.92, No.4, 1995, PP. 532-541.
7- Bertolini, L., Bolzoni, F. and Pedeferri, P., "Cathodic Protection and Cathodic Prevention in Concrete: Principles and Application", Journal of Applied Electrochemistry, Vol.28, No.12, 1998, PP. 1321-1331.
8- Wyatt, B.S., "Cathodic Protection of Steel in Concrete, a Mature Engineering Solution at Last", 2nd Regional Concrete Conference on Concrete Durability in the Arabian Gulf, Bahrain, March, 1995, PP. 243-364.
9- Martin, B.I. and Kovatch, W.A., "Cathodic Protection for Viaduct", Concrete International, Vol.11, No.9, 1989, PP.50-53.
10- Hope, B.B. and Manning, D.G., "Corrosion and Electrical Impedence in Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 15, No.3, 1985, PP. 525-534.
11- العمري، حيدر مجيد، 2003، "تأثير الخواص الكهروكيميائية والفيزياوية للخرسانة المسلحة في تصميم الحماية الكاثودية"، أطروحة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة البناء والإنشاءات، الجامعة التكنولوجية.
12- Pedeferri, P., "Cathodic Protection and Cathodic Prevention", Construction and Building Materials, Vol.10, No.5, 1996, PP. 391-402.

* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

* Building and Construction Engineering Department
** Ministry of Science and Technology
*** University of Dhe Qur

المجموعة الأولى

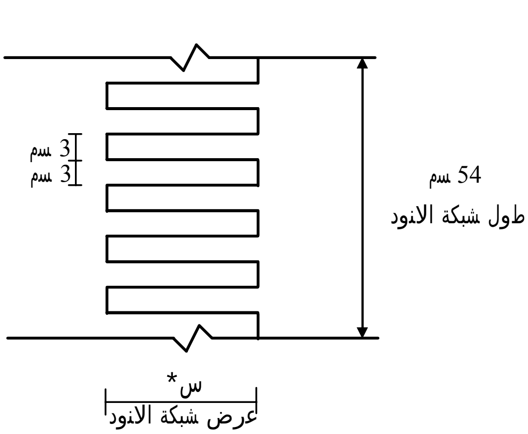


المجموعة الثانية

شكل (1) حالات النماذج المستخدمة في العمل.

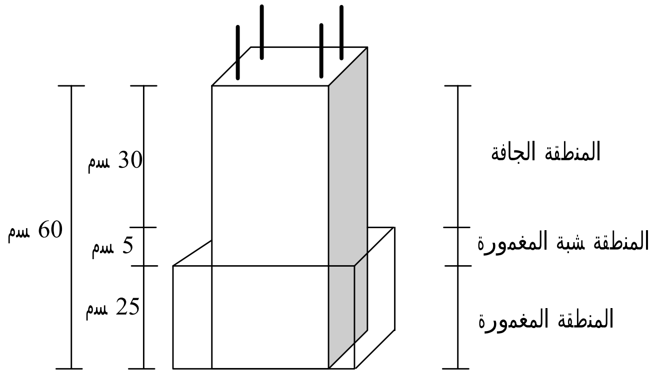
جدول (1) تفاصيل النماذج المستخدمة في العمل*

المجموعة الأولى مساحة الأنود=380 سم^2				المجموعة الثانية مساحة الأنود=240 سم^2			
حالة النموذج	المساحة السطحية لقضبان حديد التسليح (سم^2)	أقرب مسافة بين الحديد المتمثل بالكاثود وشبكة الأنود (سم)	عدد النماذج	حالة النموذج	المساحة السطحية لقضبان حديد التسليح (سم^2)	أقرب مسافة بين الحديد المتمثل بالكاثود وشبكة الأنود (سم)	عدد النماذج
A	980	5	3	F	980	5	3
B	490	5	3	G	490	5	3
$\bar{B}$	490	15		$\bar{G}$	490	25	

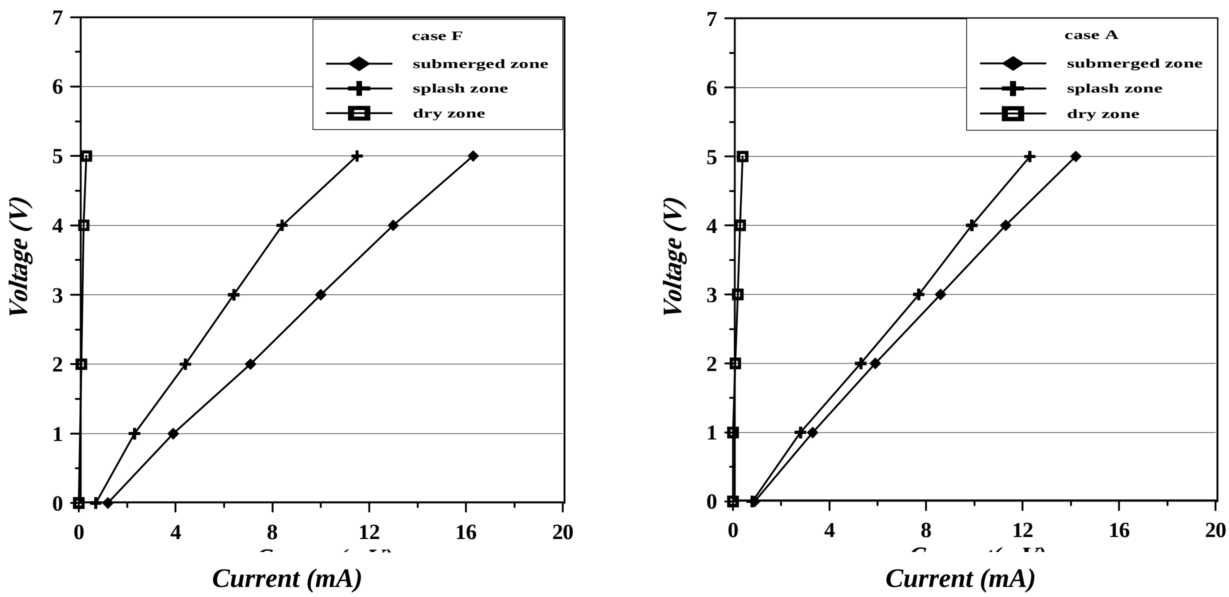


س* = 24 سم بالنسبة للنماذج الخاصة
بالمجموعة الأولى بينما تساوي 14 سم
بالنسبة للنماذج الخاصة بالمجموعة الثانية.

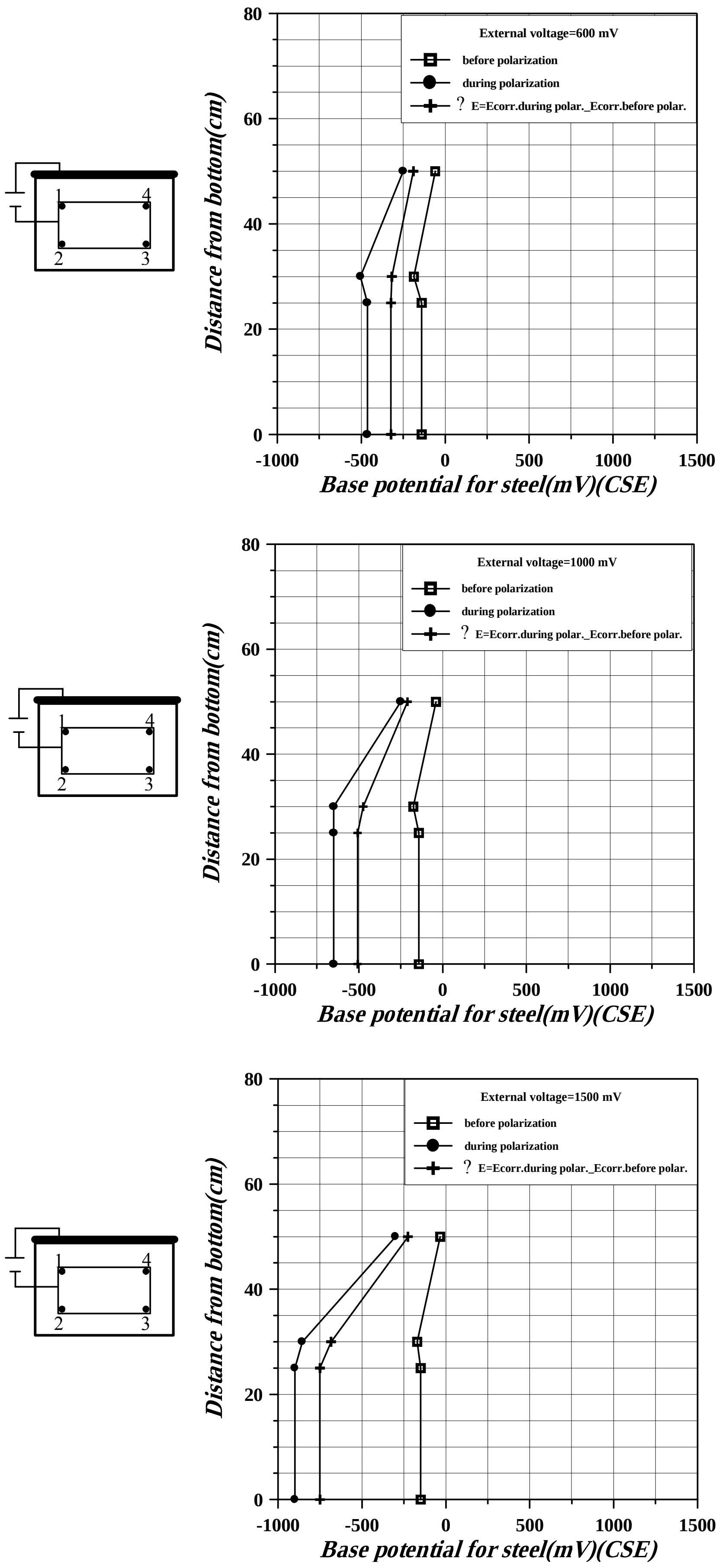
شكل (3) تفاصيل شبكة الأنود المستخدمة



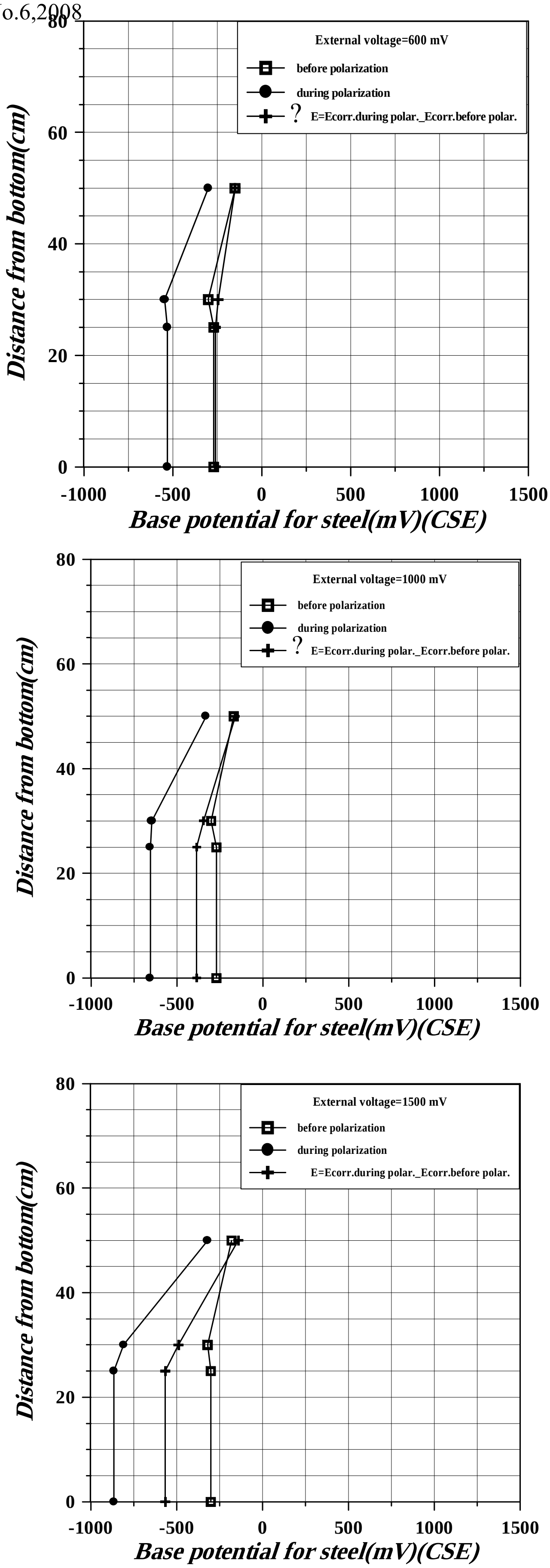
شكل (2) تفاصيل النموذج المستخدم



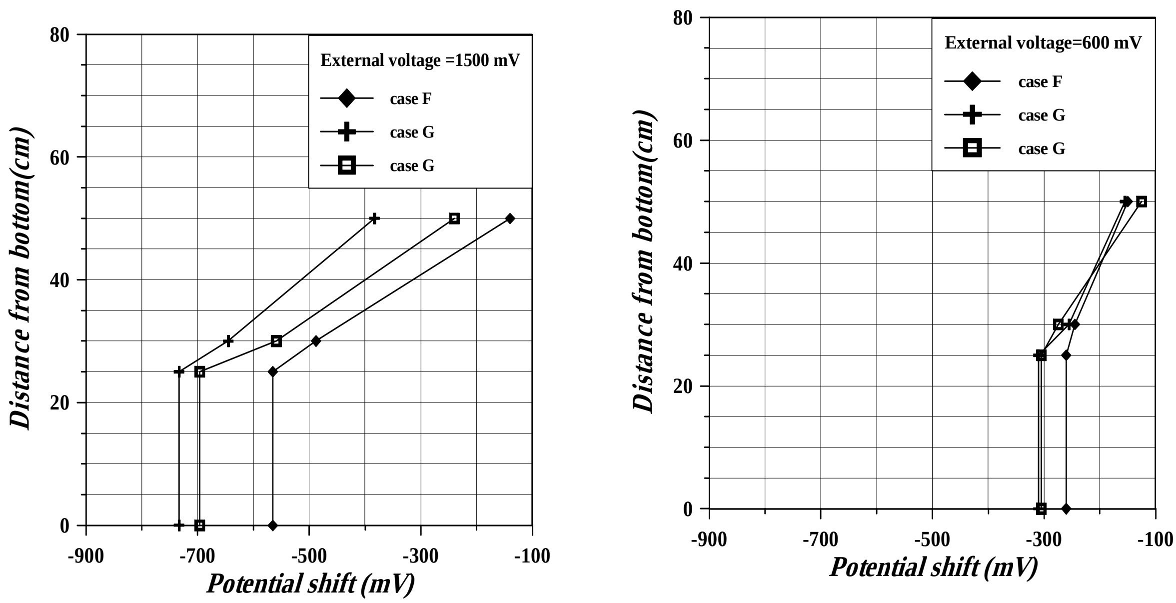
شكل (4) العلاقة بين الجهد-التيار للنماذج في المناطق المغمورة وشبه المغمورة والجافة



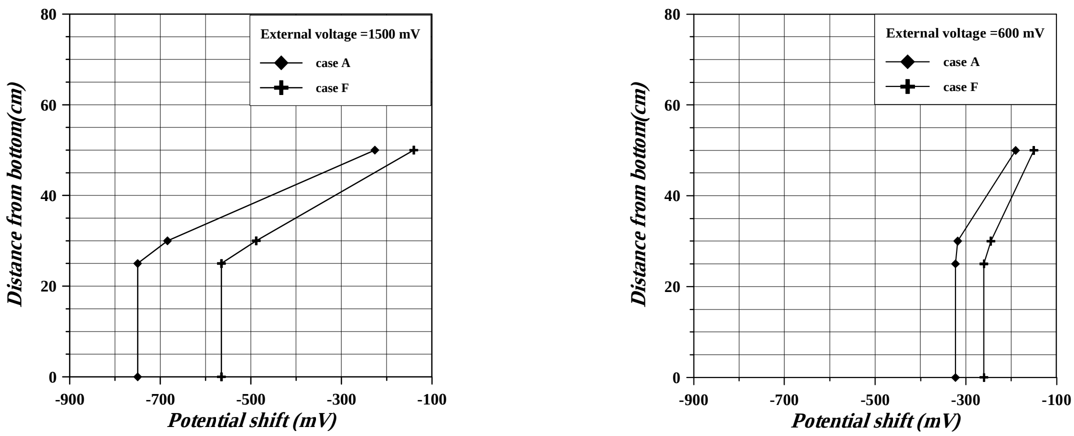
شكل (5) التغير في فرق جهد نصف الخلية للحديد قبل وبعد الاستقطاب والفرق بينهما عند تسليط جهد خارجي مختلف على النماذج الخاصة بالحالة A



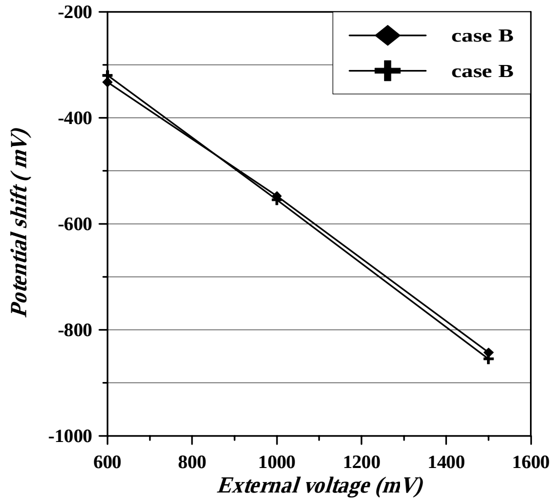
شكل (6) التغير في فرق جهد نصف الخلية للحديد قبل وبعد الاستقطاب والفرق بينهما على طول النماذج الخاصة بالحالة –F- ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



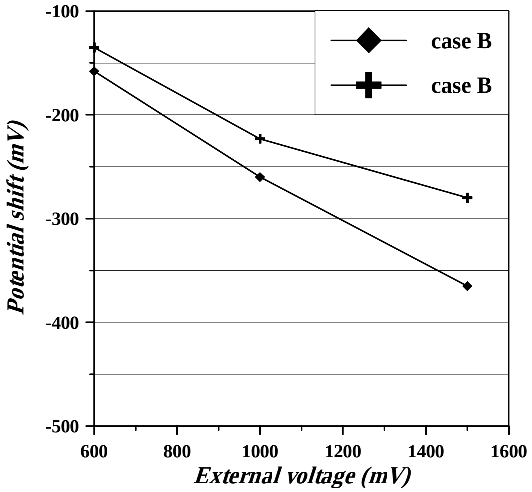
شكل (7) التغير في انحراف جهد نصف الخلية لجميع حالات النماذج ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



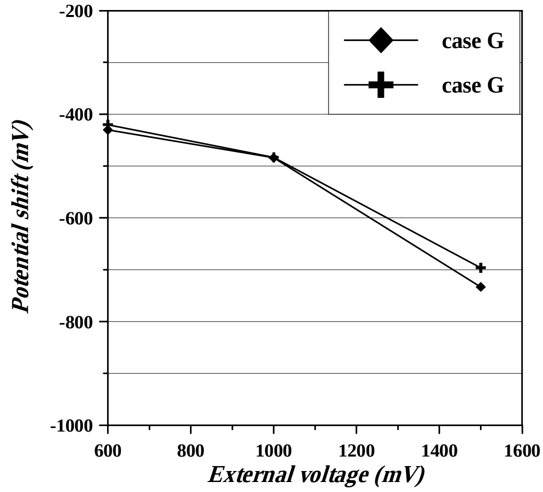
شكل(8) التغير في انحراف جهد نصف الخلية للنماذج الخاصة بالحالتين (F,A) ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



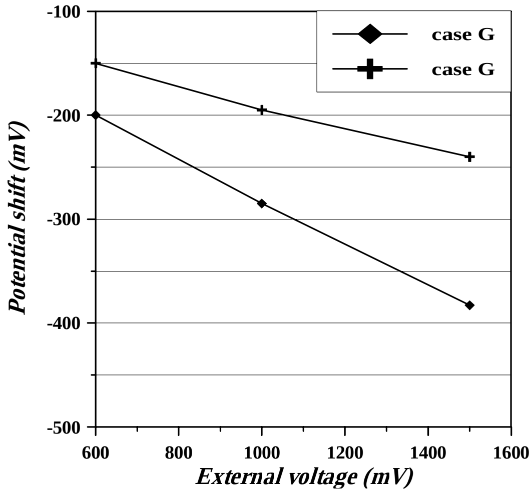
شكل(9) التغير في انحراف جهد نصف الخلية للكاثود الخاص بالنماذج التي تمثل الحالتين () $B\overline{B}$, في المناطق المغمورة ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



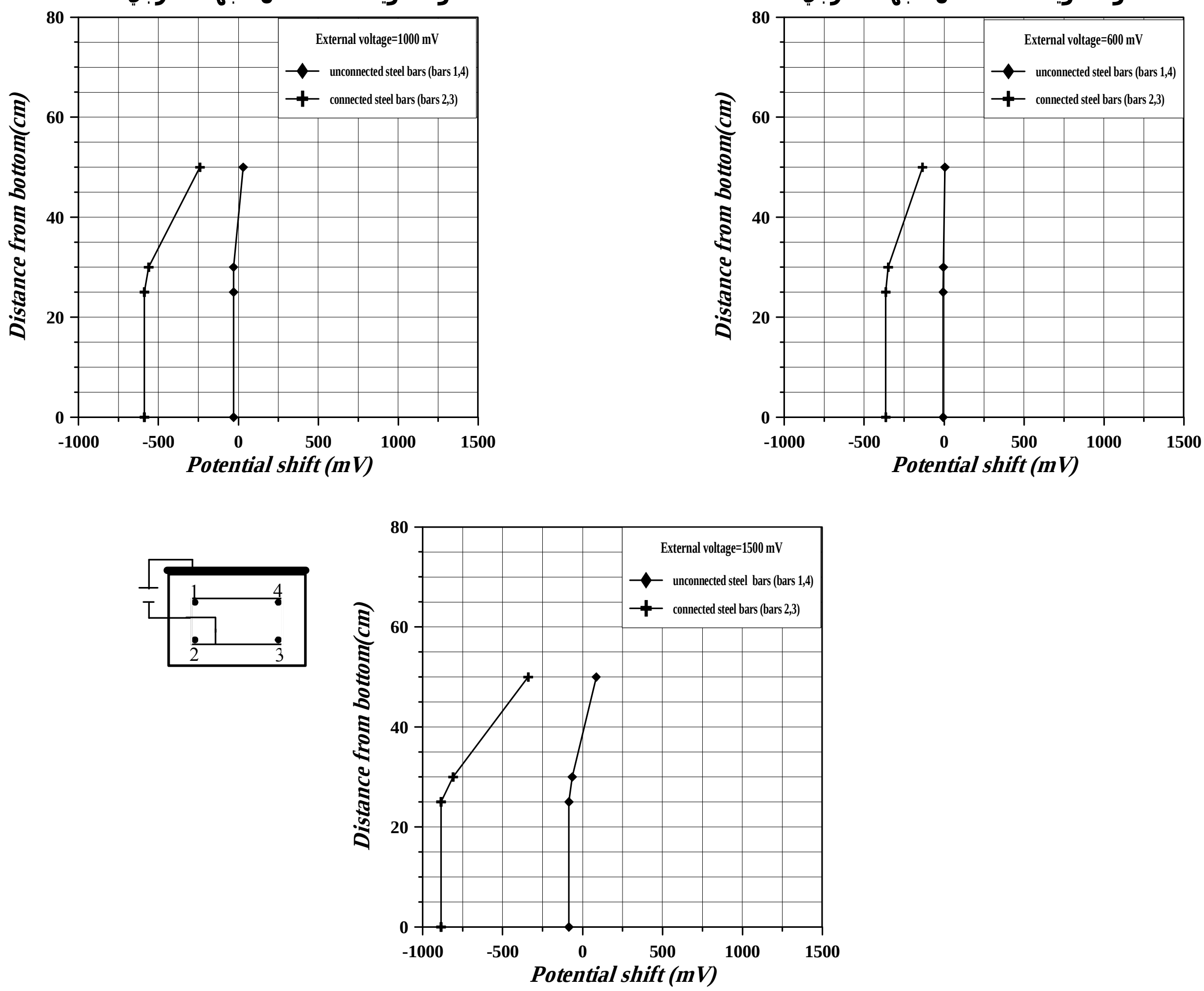
شكل(10) التغير في انحراف جهد نصف الخلية للكاثود الخاص بالنماذج التي تمثل الحالتين (B , $\overline{B}$) في المناطق الجافة ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



شكل(11) التغير في انحراف جهد نصف الخلية للكاثود الخاص بالنماذج التي تمثل الحالتين (G, $\overline{G}$) في المناطق المغمورة ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



شكل(12) التغير في انحراف جهد نصف الخلية للكاثود الخاص بالنماذج التي تمثل الحالتين (G, $\overline{G}$) في المناطق الجافة ولمستويات مختلفة من الجهد الخارجي



شكل (13) التغير في انحراف جهد نصف الخلية لطبقة حديد التسليح المتصلة وغير المتصلة بالدائرة الكهربائية والخاصة بالحالة $\overline{B}$ - قبل وبعد الاستقطاب لمستويات مختلفة من الجهد الخارجي

جدول (2) تأثير المساحة السطحية للانود والمسافة بين الانود والكاثود على قيم الاستقطاب الانودي والكاثودي في المناطق المغمورة فقط.

الحالة	اقرب مسافة بين الكاثود و الانود (سم)	المساحة السطحية لحديد التسليح (سم2)	المساحة السطحية للانود (سم2)	الجهد الخارجي المساط (ملفولت)					
				600		1000		1500	
				الاستقطاب* الكاثودي	الاستقطاب* الانودي	الاستقطاب* الكاثودي	الاستقطاب* الانودي	الاستقطاب* الكاثودي	الاستقطاب* الانودي
A	5	980	380	-323	276	-508	490	-750	734
F	5	980	240	-260	336	-385	614	-565	930
B	5	490	380	-375	223	-600	395	-900	595
G	5	490	240	-310	289	-484	510	-733	764
$\overline{B}$	15	490	380	-365	234	-588	409	-885	610
$\overline{G}$	25	490	240	-305	292	-465	530	-696	797

*** تكون جميع قيم الاستقطاب بالملفولت**

جدول (3) تأثير المقاومة الكهربائية للخرسانة على قيم الاستقطاب الكاثودي والتيارالكهربائي لمناطق نماذج البحث

هد الخارجي، ملفوات		600						1000						1500				
الحالات		A	B	$\overline{B}$	F	G	$\overline{G}$	A	B	$\overline{B}$	F	G	$\overline{G}$	A	B	$\overline{B}$	F	G
اب الكاثودي، في المناطق	المغمورة	323	375	365	260	310	305	508	600	588	385	484	465	750	900	885	565	733
	شبه المغمورة	318	360	350	245	255	274	275	589	561	345	475	430	674	837	810	488	645
	الجافة	190	158	135	200	155	125	210	280	240	160	270	195	266	410	340	140	383
اب الكاثودي، ، في المناطق	المغمورة	367	380	450	323	335	435	367	380	450	323	335	435	367	380	450	323	335
	شبه المغمورة	420	425	500	435	520	655	420	425	500	435	520	655	420	425	500	435	520
	الجافة	11000	13000	14000	11000	13500	20000	11000	13000	14000	11000	13500	20000	11000	13000	14000	11000	13500
، ملي امبير المناطق	المغمورة	0.88	0.99	0.8	0.8	0.92	0.7	1.38	1.58	1.31	1.19	1.4	1.07	2.04	2.36	1.97	1.75	2.06
	شبه المغمورة	0.75	0.85	0.7	0.56	0.49	0.42	1.13	1.38	1.12	0.79	0.9	0.65	0.63	1.97	1.62	1.12	1.24
	الجافة	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03
ار الكلي، ملي أمبير		1.64	1.85	1.5	1.38	1.42	1.13	2.53	2.98	2.45	1.99	2.32	1.73	3.69	4.36	3.61	2.88	3.33
سطحية لحديد التسليح، سم2		980	490	490	480	490	490	980	490	490	980	490	490	980	490	490	980	490
كثافة التيار ايكرو أمبير/ سم2		1.67	3.77	3.14	1.4	2.8	2.3	2.58	6.08	5.0	2.03	4.7	3.53	3.76	8.9	7.37	5.9	6.8