

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

Received	2026/06/01	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/06/28	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/06/30	تم نشر الورقة العلمية في

**Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode
Distance on Free Chlorine Production as a Precursor
to Sodium Hypochlorite Formation from Brine Using
a DSA Anode**

Rayhan Alshaibani Ali Alghoul

Department of Chemistry, School of Basic Sciences
Libyan Academy, Libya
21982301@academy.edu.ly

Abstract

This study aims to apply electrochemical technique to produce free chlorine from brine which located at the desalination plant in western Tripoli. Therefore, maximizing benefits and reducing negative effects. Two variables were studied: electrical voltage, and the distance between electrodes, using a dimensionally stable titanium anode (DSA) coated with a layer of ruthenium oxides (RuO₂), and a graphite cathode, the applied voltages were 3.5 V, 4.5 V, and 5.0 V. While the inter-electrode distances were 1.0 cm, 1.4 cm, 2.0 cm, and 2.8 cm. Along with measuring the free chlorine concentration (in ppm) during different running times up to 100 min. The findings indicated that raising the electrical voltage increases chlorine production rate, where highest concentration reached 582.2 ppm at 5.0 V and 1.0 cm after 100 min. Results indicated that controlling distance and electrical voltage plays a major role enhancing the electrochemical cells performance to produce chlorine efficiently.

This scientific manuscript was presented at the sessions of the International Renewable Energy, Oil, Gas, and Climate Change Conference "iREGO", in the period of April 25–27, 2026. Tripoli, Libya.

Keywords: Brine, Free Chlorine, Electrolysis, DSA Anode (RuO₂/TiO₂), Applied Voltage, Electrode Distance.

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

دراسة تأثير الجهد الكهربائي والمسافة بين الأقطاب على إنتاج الكلور الحر
كمقدمة لتكوين هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الملحي الراجع باستخدام أنود
DSA

ريحان الشيباني علي الغول

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، مدرسة العلوم الأساسية، قسم الكيمياء، ليبيا
21982301@academy.edu.ly

الملخص:

تتناول هذه الدراسة تطبيق تقنية كهروكيميائية لإنتاج الكلور الحر من المحلول الملحي (Brine) الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس، للاستفادة منه في تقليل الأثر البيئي للماء الراجع. تمت دراسة متغيرين هما: الجهد الكهربائي والمسافة بين الأقطاب، باستخدام أنود تيتانيوم مستقر الأبعاد (DSA) مغطى بطبقة من أكاسيد الروثينيوم (RuO_2)، وكانود جرافيتي. أجريت التجارب عند جهود كهربائية تبلغ 3.5 V، 4.5 V، 5.0 V. ومسافات بين الأقطاب مقدارها 1.0 cm، 1.4 cm، 2.0 cm، 2.8 cm، مع قياس تركيز الكلور الحر بوحدة (ppm) عند أزمنة تشغيل مختلفة حتى 100 min. أظهرت النتائج أن رفع الجهد الكهربائي يزيد من معدل إنتاج الكلور الحر بشكل ملحوظ، حيث بلغ أعلى تركيز للكلور الحر حوالي 582.2 ppm عند 5.0 V ومسافة 1.0 cm بعد 100 min التشغيل. تؤكد النتائج أن التحكم في المسافة والجهد الكهربائي يمثل عاملين رئيسيين في تحسين أداء الخلايا الكهروكيميائية لإنتاج الكلور بكفاءة عالية. وقد تم عرض هذه الورقة العلمية في جلسات المؤتمر الدولي للطاقة المتجددة والنفط والغاز وتغير المناخ "أيريغو" في الفترة 25-27 أبريل 2026م. طرابلس-ليبيا.

الكلمات المفتاحية: المحلول الملحي الراجع (Brine)، الكلور الحر، التحليل الكهربائي، أنود ($\text{RuO}_2/\text{TiO}_2$) DSA، الجهد الكهربائي، المسافة بين الأقطاب.

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

1. المقدمة

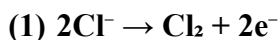
تقنية تحلية مياه البحر تُعد ثاني أهم مورد مائي غير تقليدي معتمد في ليبيا، حيث استخدمت هذه التقنية في ليبيا منذ أوائل ستينيات القرن الماضي، حيث تمتلك ليبيا حوالي 21 محطة تحلية مياه على طول الساحل الليبي [1]. تعتبر محطة تحلية غرب طرابلس إحدى المحطات الرئيسية في ليبيا التي تعمل بتقنية التقطير متعدد التأثير مع الضغط الحراري (MED-TVC) [2]. بالرغم من الاستفادة العظمى من تقنية تحلية المياه، إلا أنَّ لها آثار سلبية عديدة، من شأنها إلحاق الضرر بالبيئة البحرية، فعملية سحب مياه البحر إلى المحطة يتم فيها جر واصطدام الكائنات البحرية [3]، [4]. وتتمثل الأضرار أيضًا في الانبعاثات السامة واستهلاك الطاقة وتصريف المحلول الملحي مباشرة في ماء البحر، وهذه لها الأثر الأكثر تدميرًا للبيئة البحرية [5]، [6]. تُصَرَّف محطات تحلية المياه بأنظمتها المختلفة ناتج ثانوي متمثل في محلول شديد الملوحة باستمرار، حيث يتضمن مواد كيميائية مختلفة، مثل مضادات التلوث ومواد منع التكلس أو التخثر لإزالة المواد الصلبة العالقة، إضافة إلى مضادات الرغوة والملوثات الناتجة عن التآكل مثل المعادن الثقيلة، حيث تُضاف جميع هذه المواد أثناء المعالجة التمهيدية للمياه وكذلك خلال المعالجة اللاحقة للمياه المنتجة، ويحتوي أيضًا على تراكيز متفاوتة من الأملاح والمعادن بما في ذلك SO_4^{2-} ، Cl^- ، Na^+ و Ca^{+2} و Mg^{+2} و K^+ و Fe^{+2} و Cu^{+2} [7]، [8]. تُشير عدة أبحاث إلى التأثير السلبي للمحلول الملحي على الكائنات البحرية، خاصةً شوحيات الجلد وذوات المصريعين، بالإضافة إلى أعشاب البحر والطحالب الكبيرة [9]. تبحث هذه الدراسة في كيفية استغلال المحلول الملحي بإعادة تدويره لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم للتقليل من التلوث البيئي الحاصل على الساحل الغربي القريب من محطة تحلية غرب طرابلس، وذلك باستخدام تقنيات كهروكيميائية مختلفة، وبالتالي الحصول عليه من مصدر رخيص بدلاً من تكلفة شراءه. ويمكن إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم عن طريق التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم الموجود في مياه البحر أو المحاليل الملحية. [10] مما يؤدي لتحويلها إلى محلول هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl)، حيث يتفكك كلوريد

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

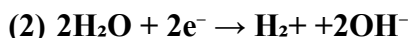
<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

الصوديوم (NaCl) إلى أيون الصوديوم (Na⁺) وأيون الكلوريد (Cl⁻) نتيجة للتحليل الكهربائي لمحلول مائي من كلوريد الصوديوم. كما هو موضح في المعادلة التالية:

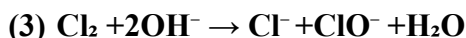
• عند الأنود، يتولد الكلور الحر:



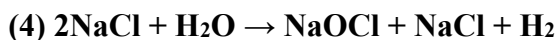
• عند الكاثود، يتصاعد الهيدروجين مع التكوين المصاحب لأيونات الهيدروكسيد (OH⁻):



تنتقل أيونات الهيدروكسيد (OH⁻) مع الكلور (Cl₂)، مما يؤدي إلى تكوين الهيبوكلوريت:



ويمكن كتابة التفاعل العام كما يلي:



الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الظروف التشغيلية المناسبة لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الملحي الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس باستخدام أنود تيتانيوم مستقر الأبعاد، حيث تمت دراسة متغيرين هما: الجهد الكهربائي، المسافة بين القطبين.

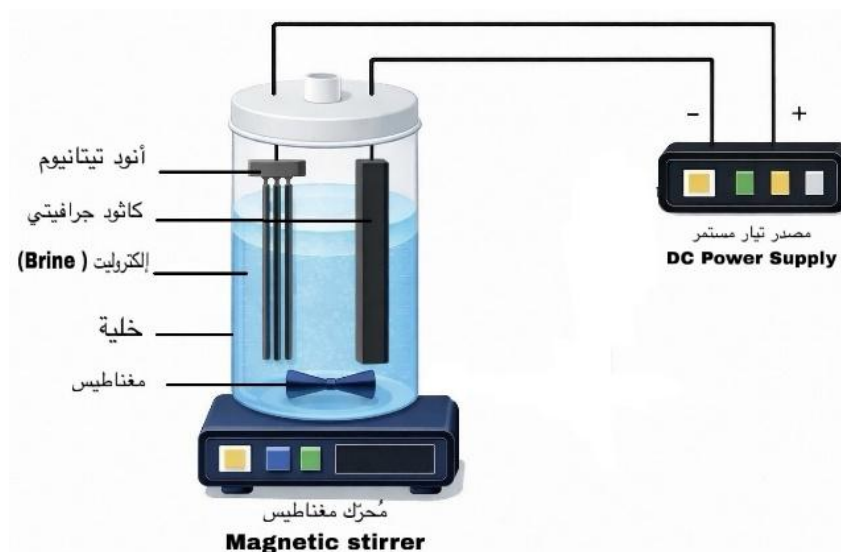
2. المواد وطرق العمل

كما هو موضح في الرسم التخطيطي الشكل (1)، تتكون خلية التحليل الكهربائي من قطبين، الأنود عبارة عن تيتانيوم مُستقر الأبعاد ومطلي بطبقة من الأكاسيد النشطة DSA (RuO₂/TiO₂) بعدد ثلاثة شرائح متوازية في مستوى واحد، بعرض حزمة cm 2.6 وسمك كل شريحة 1 mm وطول 7 cm وعرض 0.8 cm. والكاثود عبارة عن

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

جرافيت بطول 7cm وعرض 0.6cm. قبل البدء، تم غسل الأقطاب بماء مقطر وتنظيفها وتجفيفها جيداً، ثم وزنها وتدوين كتلة الأقطاب.



الشكل (1). مخطط يوضح تصميم الخلية الكهروكيميائية

تم ملء الخلية بحجم 250 ml من الإلكتروليت (المحلول الملحي)، وثبتت الأقطاب الكهربائية المستعملة بشكل عمودي على مسافة 1cm وجهد 3.5V، في المرة الأولى، ثم توصيل الدائرة الكهربائية بمصدر تيار مستمر DC Power Supply نوع EP-613، وبدء تتبّع عملية التحليل الكهربائي والتزايد في إنتاج الكلور الحر كل (20 min لمدة 100). تم التحليل باتباع طريقة Hach 8021 المعتمدة على تفاعل الكلور الحر مع كاشف DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine) على شكل مسحوق، وظهور اللون الوردي بقياسه عند طول موجي (530nm) باستخدام جهاز spectrophotometer DR2800، وتدوين النتائج. بعد الانتهاء، تم تنظيف الأقطاب ووزنها بميزان إلكتروني حساس وتسجيل التغير في كتلة الأقطاب. تم تطبيق نفس الخطوات العملية مع المسافات 1.4 cm، 2.0 cm، 2.8 cm، 4.5 V و 5.0 V.

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

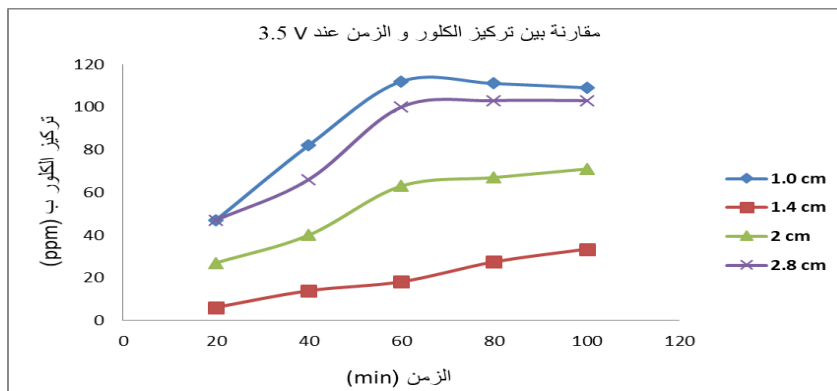
<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

3. النتائج والمناقشة

3.1 تأثير التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والكاثود الجرافيتي عند جهد 3.5 V

تأثير المسافة بين الأقطاب الكهربائية دوراً مهماً في العملية الكهروكيميائية فيما يتعلق بكفاءة العملية وتكلفة الإنتاج. في التجربة الأولى، تم تطبيق جهد 3.5 V وتباعد بين الأقطاب 1.0 cm، وزمن تشغيل مدته 100 min.

تم قياس تركيز الكلور الحر (Free Chlorine) بوحدة (ppm) على الفترات الزمنية المحددة خلال التشغيل، وهي (20 min، 40 min، 60 min، 80 min، 100 min)، وقد تم ذلك بسحب 10 ml بواسطة ماصة من الإلكتروليت، وإضافة الكاشف DPD، وقراءة النتيجة خلال دقيقة حسب طريقة Hach، وتحصلنا على تركيزات للكلور الحر.



الشكل (2). العلاقة بين تركيز الكلور الحر بوحدة ppm وزمن التشغيل عند 3.5 V باستخدام أنود DSA

3.2 تفسير النتائج عند الجهد 3.5 V

بلغ أعلى إنتاج للكلور الحر عند أقصر مسافة 1.0 cm بقيمة 112 ppm في الدقيقة 60 min. ويُعزى ذلك إلى قُصر المسافة بين الكاثود والأنود، مما يؤدي إلى زيادة شدة المجال الكهربائي ومقاومة منخفضة، وبالتالي تسريع انتقال أيونات (Cl^-) نحو الأنود، ومن ثم أكسدة الكلوريد إلى كلور وتكون هيبوكلوريت الصوديوم، وهذا يتفق مع النتائج التي

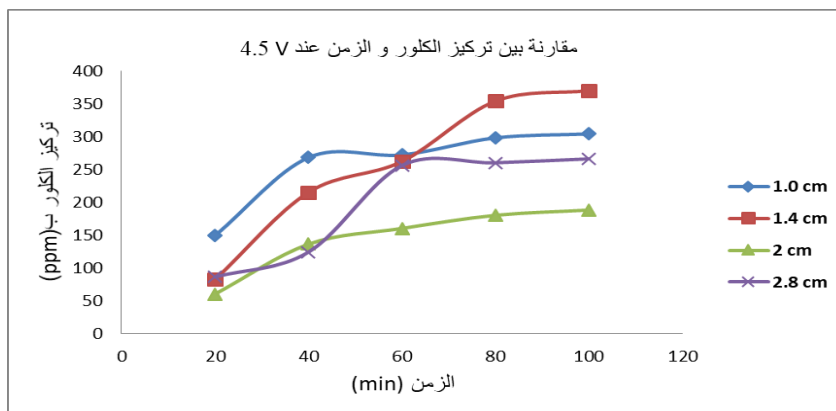
Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

توصل إليها أسوكان وسوبرامانيان وأفسار [12] و[13]. تليها المسافة 2.8 cm بقيمة ثابتة 103 ppm عند 80 min، 100 min. ورغم أن المسافة أكبر والمقاومة أعلى، فإنها أعطت نتائج قريبة من تباعد 1.0 cm، ويُعزى ذلك إلى تحسن حركة الفقاعات الغازية (Cl_2, H_2) التي كانت تسد المواقع النشطة على الأقطاب. وهذا يتفق مع ما جاء في دراسة أنغولو وآخرون [14]. أما المسافتان 1.4 cm و 2.0 cm فقد أظهرتا تراكيزات منخفضة، بسبب تكون فقاعات غازية كثيفة، تمت رؤيتها بوضوح على سطح الأقطاب، والتي من شأنها أن تُعيق سريان التيار.

3.3 تأثير التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والكاثود الجرافيتي عند جهد 4.5 V

بنفس الخطوات السابقة مع رفع الجهد إلى 4.5 V حصلنا على تراكيزات للكلور الحر



الشكل (3). العلاقة بين تركيز الكلور الحر بوحدة ppm وزمن التشغيل عند 4.5 V باستخدام أنود DSA

3.4 تفسير النتائج عند الجهد 4.5 V

عند رفع الجهد من 3.5 V إلى 4.5 V تحسن الإنتاج، وأعطى أعلى قيمة للكلور الحر عند المسافة 1.4 cm بقيمة 370 ppm عند 100 min. يعزى ذلك للنقل الأيوني الجيد، والتيار المستقر. تليها في الإنتاج المسافة 1.0 cm بقيمة ثابتة 304 ppm عند 100 min. يعزى الانخفاض في قيمة إنتاج الكلور الحر إلى تكون الفقاعات من (Cl_2, H_2)

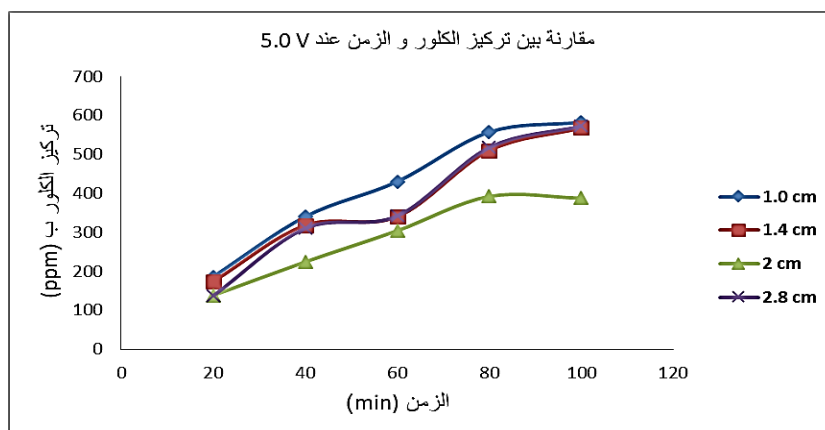
Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

في الفراغ الضيق بين القطبين. مثل ما جاء في الدراسة [13]. أمّا المسافتين الأكبر 2.0 cm و 2.8 cm انخفض فيهما إنتاج الكلور، يُعزى هذا إلى زيادة مقاومة التيار الكهربائي في المحلول الملحي. وهذا يتوافق مع دراسة [15].

3.5 تأثير التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والكاثود الجرافيتي عند جهد 5.0 V

بنفس الخطوات السابقة مع رفع الجهد إلى 5.0 V تحصلنا على تراكيزات للكلور الخُر



الشكل (4). العلاقة بين تركيز الكلور الحر بوحدة ppm وزمن التشغيل عند 5.0 V باستخدام أنود DSA

3.6 تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V

بلغ أقصى إنتاج عند أقصر مسافة 1.0 cm بقيمة 585.2 ppm عند 100 min. وهذا يؤكد أنّ قُطب التيتانيوم DSA يتمتع باستقرار وإنتاجية عالية عند الجهود المُرتفعة والمسافات القصيرة، ممّا يتطابق مع دراسة [10]. تليها المسافة 2.8 cm بتركيز 572.5 ppm. ثمّ المسافة 1.4 cm بتركيز 567.5 ppm. ويُعزى تقارب هذه التراكيز إلى الجهد العالي المُطبّق، الذي يرفع من كفاءة العملية بزيادة كثافة التيار ويقلّل المقاومة وتسريع تفاعلات الأكسدة على الأنود، كما أُثبتت في الدراسة [16]. أمّا عند مسافة 2.0 cm، فعلى الرُغم من زيادة التّركيز مع الزمن، إلا أنّ القيم كانت منخفضة مقارنة

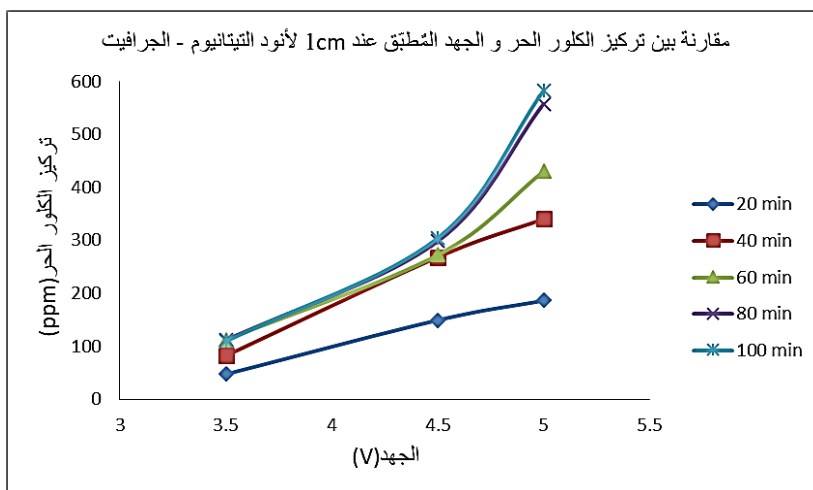
Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

بالمسافات الأخرى، ويُعزى ذلك إلى تكوّن فقاعات غازية على الأسطح وعدم انفصالها بسهولة كما يحدث في المسافات الأكبر، ممّا يؤدي إلى تراكمها وتقليل مساحة السطح.

3.7 تأثير الجهد الكهربائي المُطبّق على إنتاج الكلور الحر لقطب التيتانيوم - قطب الجرافيت

في الشكل التالي (5)، تم رسم العلاقة بين تركيز الكلور الحر مُقابل الجهود المُطبّقة (5.0 V، 4.5 V، 3.5 V). وقد تم اختيار المسافة 1 cm لقطب التيتانيوم DSA باعتبارها المسافة المثلى التي أعطت أعلى إنتاج للكلور الحر عند 0.5 V.



شكل (5). العلاقة بين تركيز الكلور الحر والجهد عند أزمنة مختلفة لأنود التيتانيوم - الجرافيت.

يُلاحظ من الشكل أنّ زيادة الجهد الكهربائي تؤدي إلى زيادة إنتاج الكلور الحر مع الزمن، ممّا يؤكد حساسية العملية الكهروكيميائية للتغير في الجهد المُطبّق.

3.8 تقييم استقرار قطب DSA والجرافيت من خلال التغير في الكتلة

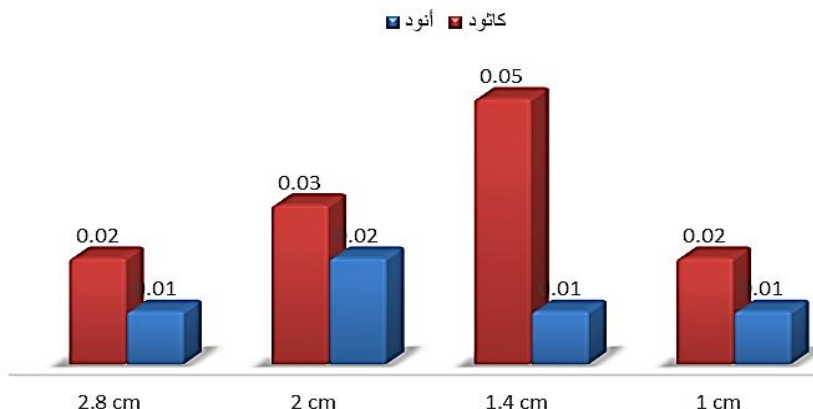
يُراعى في العملية الكهروكيميائية استهلاك مادة القطب.

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

3.8.1 التغير الوزني للأقطاب عند 3.5 V

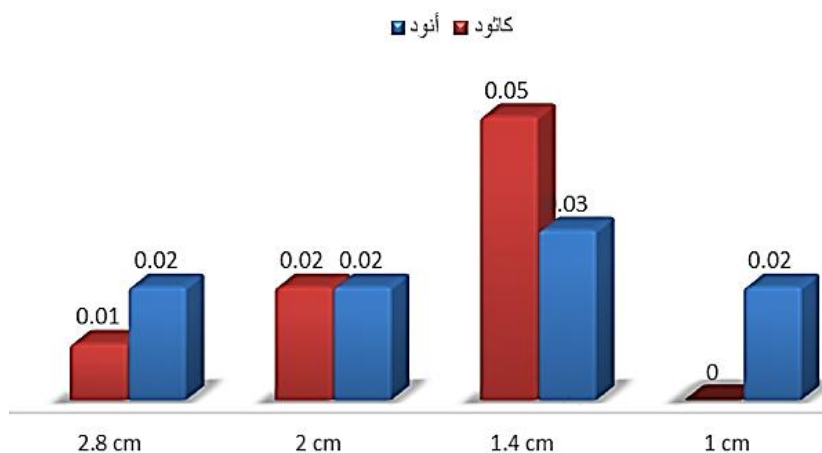
التغير الوزني لقطب DSA و قطب الجرافيت عند 3.5 V



شكل (6). التغير الوزني للأنود والكاثود عند 3.5 V

3.8.2 التغير الوزني للأقطاب عند 4.5 V

التغير الوزني لقطب DSA و قطب الجرافيت عند 4.5 V



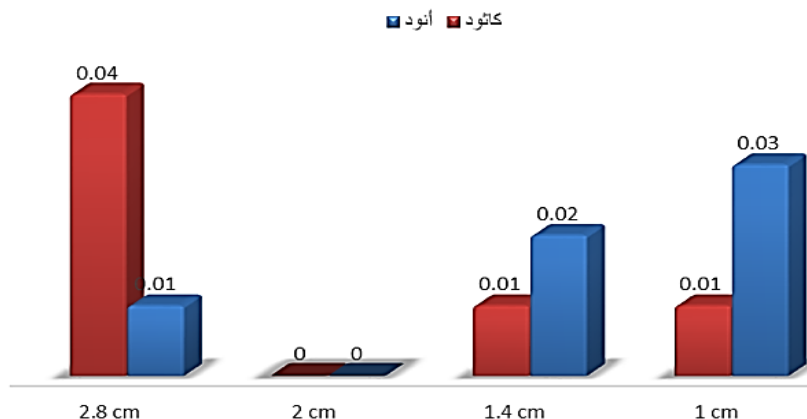
شكل (7). التغير الوزني للأنود والكاثود عند 4.5 V

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

3.8.3 التغير الوزني للأقطاب عند 5.0 V

التغير الوزني لقطب DSA وقطب الجرافيت عند 5.0 V



شكل (8). التغير الوزني للأنود والكاثود عند 5.0 V

4. الاستنتاجات

أظهرت نتائج التغير الوزني للأقطاب أن أنود DSA يتمتع بدرجة عالية من الثبات الكهروكيميائي خلال جميع ظروف التشغيل المدروسة، حيث لم يتجاوز مقدار الفقد في كتلته 0.03 g، بل لم يُسجل أي فقد وزني عند جهد 5.0 V ومسافة 2 cm. في المقابل، أظهر قطب الجرافيت معدلات استهلاك أعلى، إذ بلغت أعلى قيمة للفقد الوزني 0.05 g عند جهد 3.5 V ومسافة 1.4 cm، و 0.04 g عند جهد 5.0 V ومسافة 2.8 cm. وتشير هذه النتائج إلى أن أنود DSA أكثر مقاومة للتآكل و الأكسدة في الوسط الملحي، مما يجعله أكثر ملاءمة للاستخدام طويل الأمد في إنتاج الكلور الحر و هيبوكلوريت الصوديوم، وذلك بما يتوافق مع ما ورد في الدراسة [10].

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

5. التوصيات

- 1- يُقترح العمل على إدارة تصريف المحلول الملحي عبر إنشاء وحدة بمحطة تحلية غرب طرابلس لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم، لما لذلك من دور في تقليل الأثر البيئي للمحلول الملحي.
- 2- دراسة أنواع أخرى من الأقطاب مثل البلاتين والسيلستين، ومقارنتها بأقطاب التيتانيوم (RuO₂/TiO₂). DSA.
- 3- يُستحسن تحليل متغيرات أخرى مثل كثافة التيار بدلاً من الاعتماد على الجهد فقط، وذلك للحصول على تقييم أكثر دقة للعملية الكهروكيميائية.
- 4- يُستحسن تقييم استهلاك الطاقة والتكلفة التشغيلية للعملية لتحديد الجدوى الاقتصادية للتطبيق الصناعي.

6. المراجع

- [1] M. M. Ashour and S. M. Ghurbal, "Economics of seawater desalination in Libya," *Desalination*, vol. 165, pp. 215–218, 2004.
- [2] H. S. El-Hajaji, "Desalination Technologies and Environmental Aspects : Case Study in Libya," Ph.D. dissertation, Liverpool John Moores Univ., Liverpool, U.K., 2017.
- [3] J. L. Dupavillon and B. M. Gillanders, "Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish," *Marine Environmental Research*, vol. 67, no. 4–5, pp. 207–218, 2009.
- [4] Shokri and M. Sanavi Fard, "Environmental footprints of desalination," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 20, no. 2, pp. 2347–2374, 2023.
- [5] T. Bleninger and G. H. Jirka, "Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants," *Desalination*, vol. 221, no. 1–3, pp. 585–597, 2008.
- [6] T. Bleninger, A. Niepelt, and G. Jirka, "Desalination plant discharge calculator," *Desalination and Water Treatment*, vol. 13, no. 1–3, pp. 156–173, 2010.

Study of the Effect of Applied Voltage and Electrode Distance on
Free Chlorine Production as a Precursor to Sodium Hypochlorite
Formation from Brine Using a DSA Anode

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-irego81>

- [7] S. Lattemann and T. Höpner, "Environmental impact of seawater desalination," *Desalination*, vol. 220, no. 1–3, pp. 1–15, 2008.
- [8] H. Frank, E. Rahav, and E. Bar-Zeev, "Short-term effects of SWRO brine on benthic microbial communities," *Desalination*, vol. 417, pp. 52–59, 2017.
- [9] L. Castriota, A. M. Beltrano, O. Giambalvo, P. Vivona, and G. Sunseri, "Monitoring a hyperhaline discharge on zoobenthic communities in Ustica Island Marine Reserve," in *Proc. 36th CIESM Congress*, 2001.
- [10] M. Saleem, "Biofouling management in cooling circuits," *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, vol. 33, no. 6, p. 295, 2011.
- [11] R. Thangappan and S. T. Sampathkumaran, "Electrochlorination systems," *International Journal of Nuclear Desalination*, vol. 3, no. 2, pp. 135–142, 2008.
- [12] K. Asokan and K. Subramanian, "Design of a tank electrolyser for in-situ generation of NaClO," in *Proc. World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS)*, vol. 1, pp. 139–142, San Francisco, CA, USA, 2009.
- [13] M. Afsar, "Design of a cell to produce sodium hypochlorite from sea water/RO rejected water," Unpublished M.Sc. thesis, Karachi Institute of Power Engineering, Karachi, Pakistan, 2005.
- [14] A. Angulo, P. van der Linde, H. Gardeniers, M. Modestino, and D. F. Rivas, "Influence of bubbles on the energy conversion efficiency of electrochemical reactors," *Joule*, vol. 4, no. 3, pp. 555–579, 2020.
- [15] N. Nagai, M. Takeuchi, T. Kimura, and T. Oka, "Optimum spacing between electrodes in electrolysis," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 28, no. 1, pp. 35–41, 2003.
- [16] G. S. W. Hsu, Y. F. Lu, and S. Y. Hsu, "Electrolysis conditions for chlorine generation," *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 25, no. 4, pp. 759