



رسالة الماجستير بعنوان :

تصنيع هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الراجع من محطة تحلية
غرب طرابلس

اعداد : ریحان الشیبانی علی الفول



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الأكاديمية الليبية
مدرسة العلوم الأساسية
قسم الكيمياء

تصنيع هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس

Production of Sodium Hypochlorite from the brine of the west Tripoli Desalination Plant

دراسة مقدمة استكمالاً لمتطلبات درجة الاجازة العالية الماجستير في علوم الكيمياء

إعداد الطالبة:

رِيحَانُ الشَّيْبَانِي عَلِي العُول

إشراف كلاً من:

د. أبوبكر إبراهيم الحاجي

أ.د. الناجح الطيب أحمد عبد القادر

العام الدراسي 2026/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ﴾

[41: الروم]

الإهداء

من قال أنا لها .. نالها
وأنا لها وإن أبت رغماً عنها أتيت بها
الحمد لله حباً وشكراً على البدء والختام

ها أنا اليوم أتوج لحظاتي الأخيرة في ذلك الطريق الذي كان يحمل في باطنه العثرات والأشواك،
ورغماً عنها ظلت قدمي تخطو بكل صبر وطموح وعزيمة وتفاؤل وحُسن ظن بالله، وكم من الأيام
مرت شعرت بثقلها ومرارتها ولكن لم تُعيقن بل كانت ذكرى تمر لنيل الأحلام.

أهدي وبكل حب إنجازي وثمره نجاحي:

إلى نفسي العظيمة القوية التي صبرت وثابرت وواصلت المسير وأكملت رغم الصعوبات، لك مني
فخر لا يشيخ، وعهد بالمزيد.

إلى من لا تختصر مكانتهما بكلمات، ولا يحكى عنهما في سطور، إلى من غرساني بذرة، وسقياها
بدموع الدعاء، كبرت، نضجت، وحان وقت الحصاد، أبي وأمي تخرجني هذا هدية عمر من
العرفان.

إلى شركاء الطفولة وأصدقاء العمر وأبطال الحاضر...إلى من شددت عضدي بهم فكانوا خير السند
(أخوتي وأخواتي).

إلى زُهور العائلة، من كانت دعواتهم البريئة تحملني فوق العقبات
إلى من كنت لهم عمة وخالة (رَهْف، رُوَيْد، نَبَأ، نَصْر، نِدَاء، عَبْدُو)
أتمنى أن تكبروا وأنتم تحملون في قلوبكم حب العلم وشغف الاكتشاف.

الحمد لله على ما وهبني وأن يُعيني ويجعلني مُباركة أينما كُنت.

الشكر والتقدير

قال رسول الله صَلَّى الله عليه وسلم:

(مَنْ صَنَعَ إِلَيْكُمْ مَعْرُوفًا فَكَافِيئُوهُ، فَإِنْ لَمْ تَجِدُوا مَا تُكَافِيئُونَهُ فَادْعُوا لَهُ حَتَّى تَرَوْا أَنْتُمْ قَدْ كَافَأْتُمُوهُ).

رواه أبو داود (1672)

أتقدم بالشكر والعرفان إلى مُشرفيَّ الفاضلين: الدكتور الناجح الطيب أحمد عبد القادر والدكتور أبوبكر إبراهيم الحاجي على اشرافهم على هذا البحث، ولما قدّماه من دعم علمي وأخلاقي، خلال فترة البحث، حتى يخرج بهذه الصورة. فكاننا لي سنداً وعوناً في كل خطوة، نعم المُرشد والناصح والمُوجّه، فجزاهما الله عني خير الجزاء، وأن يبارك في علمهما وعطائهما.

كما أتقدّم بالشكر إلى كلية الهندسة-جامعة صبراتة وكل من مدّ يد العون وقدّم لي الدعم.

ولاسيما قسم الهندسة البيئية الذي احتضن مراحل التجارب العملية.

وأخصّ بالشكر والامتنان للأستاذ عبد الحميد الصيد بقسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، الذي سهّل لي أولى خطواتي في الجانب العملي، فلولاً للتسهيلات الكريمة التي قدمها لما أكتمل عملي، ولما تمكنت من إنجاز خطواته الأولى، فجزاه الله خير الجزاء.

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع	التسلسل
أ	الآية القرآنية	
ب	الإهداء	
ت	الشكر والتقدير	
ث	قائمة المحتويات	
ح	فهرس الجداول	
خ	جدول الأشكال	
د	قائمة الملاحق	
ذ	قائمة المصطلحات	
ز	ملخص الدراسة باللغة العربية	
س	ملخص الدراسة باللغة الإنجليزية	
	الفصل الأول: الإطار النظري	
2	المقدمة	1
2	دور تحلية المياه في حل مشكلة ندرة المياه في ليبيا	1.1
3	تقنيات تحلية المياه	1.2
5	آلية عمل محطة غرب طرابلس لتحلية المياه (WTRIS)	1.3
6	الآثار السلبية لمحطات التحلية على البيئة البحرية	1.4
6	الآثار البيئي لتصريف المحلول الملحي لمحطة غرب طرابلس لتحلية مياه البحر (WTRIS) على الساحل الليبي	1.5
8	حدثة البحث	1.6
9	الهدف من البحث	1.7
9	مميزات البحث	1.8
9	هيبوكلوريت الصوديوم	1.9
11	تقنيات إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم	1.10
	الفصل الثاني	
14	الدراسات السابقة	2.1
	الفصل الثالث: المواد وطرق البحث	
17	منطقة الدراسة	3.1
17	المواد والكيماويات المستخدمة في هذه الدراسة	3.2
17	الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذه الدراسة	3.3
18	مكونات جهاز spectrophotometer DR2800	3.4
19	أنواع الأقطاب المستخدمة ومتغيرات الدراسة	3.5

19	مميزات وعيوب مادة القطب الكهربى المستخدمة	3.6
20	الخلية الكهروكيميائية	3.7
20	جمع العينات	3.8
	الفصل الرابع : النتائج والمناقشة	
22	تأثير مسافة التباعد بين الأقطاب والجهد المطبق	4.1
22	تأثير مسافة التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 3.5 V	4.1.1
23	تفسير النتائج عند الجهد 3.5 V	4.1.2
23	تأثير مسافة التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 4.5 V	4.1.3
24	تفسير النتائج عند الجهد 4.5 V	4.1.4
25	تأثير مسافة التباعد بين قطب التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 5.0 V	4.1.5
26	تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V	4.1.6
26	تأثير الجهد الكهربى المُطبَّق على إنتاج الكلور الحر لقطب التيتانيوم- قطب الجرافيت	4.1.7
27	تصنيف تركيز الكلور تبعاً لقيم الجهد	
27	تقييم استقرار قطب DSA والجرافيت من خلال التغير في الكتلة	4.2
27	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 3.5 V	4.2.1
28	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 4.5 V	4.2.2
29	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 5.0 V	4.2.3
29	الاستنتاج	4.2.4
29	تأثير مسافة التباعد بين قطبي الجرافيت عند جهد 3.5 V	4.3
30	تفسير النتائج عند 3.5 V	4.3.1
30	تأثير مسافة التباعد بين قطبي الجرافيت عند جهد 4.5 V	4.3.2
31	تفسير النتائج عند الجهد 4.5 V	4.3.3
32	تأثير مسافة التباعد بين قطبي الجرافيت عند جهد 5.0 V	4.3.4
33	تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V	4.3.5
33	تأثير الجهد الكهربى المُطبَّق على إنتاج الكلور الحر لقطبي الجرافيت	4.3.6
34	تقييم استقرار قطبي الجرافيت من خلال التغير في الكتلة	4.4
34	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 3.5 V	4.4.1
35	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 4.5 V	4.4.2
35	التغير الوزنى للأقطاب عند الجهد 5.0 V	4.4.3
36	التفسير	4.4.4
36	تأثير مساحة السطح على إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم باستخدام قطبي جرافيت عند مسافة 1.0 cm و جهد مُطبَّق 5.0 V	4.5
36	مقارنة بين كفاءة إنتاج قطب جرافيت البطارية (C*) وقطب جرافيت (C)	4.5.1
37	تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V ومسافة 1.0 cm	4.5.2
	الفصل الخامس: الاستنتاج والتوصيات	
39	الاستنتاج	5.1
40	التوصيات	5.3
41	المراجع	

فهرس الجداول

الصفحة	الوصف	رقم الجدول
3	عدد المحطات على الساحل الليبي	1.1
8	المواد الكيميائية الأكثر استخداماً في المعالجة المسبقة لتحلية مياه البحر بالتقنية الحرارية	1.2
19	جدول يوضح نوع مادة القطب الكهربائي التي تم استخدامها	3.1
22	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 3.5 V باستخدام قطب DSA	4.1
24	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 4.5 V باستخدام قطب DSA	4.2
25	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 5.0 V باستخدام قطب DSA	4.3
27	التراكيز المثلى لكل جهد	4.4
27	التغير في كتلة الأقطاب عند جهد 3.5 V	4.5
28	التغير في كتلة الأقطاب عند جهد 4.5 V	4.6
28	التغير في كتلة الأقطاب عند جهد 5.0 V	4.7
30	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت	4.8
31	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت	4.9
32	تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت	4.10
34	التغير في كتلة قطبي الجرافيت عند جهد 3.5 V	4.11
35	التغير في كتلة قطبي الجرافيت عند جهد 4.5 V	4.12
35	التغير في كتلة قطبي الجرافيت عند جهد 5.0 V	4.13
36	مقارنة بين تراكيز الكلور الحر والزمن عند اختلاف مساحة سطح الأقطاب	4.14

جدول الأشكال

الصفحة	الوصف	رقم الشكل
4	طرق التحلية	1.1
5	نظام MED-TVC لمحطات التحلية	1.2
17	موقع محطة تحلية غرب طرابلس	3.1
18	مكونات جهاز spectrophotometer DR2800	3.2
18	مسار الضوء في الجهاز	3.3
23	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 3.5 V باستخدام قطب DSA	4.1
24	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 4.5 V باستخدام قطب DSA	4.2
25	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 5.0 V باستخدام قطب DSA.	4.3
26	العلاقة بين تركيز الكلور الحر والجهد عند أزمنة مختلفة لأنود التيتانيوم-قطب الجرافيت	4.4
27	التغير الوزني لأنود DSA و قطب الجرافيت (C) عند 3.5 V	4.5
28	التغير الوزني لأنود DSA و قطب الجرافيت (C) عند 4.5 V	4.6
29	التغير الوزني لأنود DSA و قطب الجرافيت (C) عند 5.0 V	4.7
30	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت	4.8
31	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت	4.9
33	العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت	4.10
34	العلاقة بين تركيز الكلور الحر والجهد عند أزمنة مختلفة لقطبي الجرافيت	4.11
34	التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 3.5 V	4.12
35	التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 4.5 V	4.13
35	التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 5.0 V	4.14
37	العلاقة بين تركيز الكلور الحر والزمن عند اختلاف مساحة سطح الأقطاب	4.15

قائمة الملاحق

الصفحة	المحتويات	الملحق
47	المواصفة القياسية الليبية لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم رقم 70	1
52	أنواع الأقطاب المستخدمة	2
54	طريقة الكلور الحر Hach 8021	3
56	نتائج قطب التيتانيوم – الجرافيت عند جهد 3.5 V	4
57	نتائج قطب التيتانيوم – الجرافيت عند جهد 4.5 V	5
58	نتائج قطب التيتانيوم – الجرافيت عند جهد 5.0 V	6
59	نتائج قطبي الجرافيت (C) عند جهد 3.5 V	7
60	نتائج قطبي الجرافيت (C) عند جهد 4.5 V	8
61	نتائج قطبي الجرافيت (C) عند جهد 5.0 V	9
62	رد اللجنة بقبول الورقة في المؤتمر الدولي للطاقات المتجددة للنفط والغاز	10

قائمة المصطلحات

الوصف	رمز الاختصار
التقطير متعدد التأثيرات مع الضغط الحراري Multi-Effect Distillation-Thermal Vapor Compression	MED-TVC
التبخير الومضي متعدد المراحل Multi-Stage Flash	MSF
التقطير متعدد المراحل Multi-Effect Distillation	MED
التناضح العكسي Reverse Osmosis	RO
الشركة العامة للكهرباء في ليبيا General Electricy of Libya	GECOL
التكثيف الحراري للبخار Thermal Vapor Compression	TVC
درجة الحرارة المئوية	C°
محطة تحلية غرب طرابلس	WTRIS
سمكة المرجان	Xyrichtys novacula
سمكة الشرغوش الدائري	Diplodus annularis
عشبة بحرية تعرف ب السيمودوسيا	Cymodocea nodosa
المحلول الملحي الراجع من محطات التحلية	Brine
التقطير الومضي متعدد المراحل Multi-Stage Flash Distillation	MSF
التيار المستمر Direct Current	DC
منظمة الصحة العالمية World Health Organization	WHO
وحدة كثافة التيار الكهربائي	mA/cm ²
جزء من المليون	ppm
الكلور المتاح	Free Chlorine
رمز قطب جرافيت البطارية	C*
رمز قطب الجرافيت	C
أنود التيتانيوم المستقر الأبعاد مطلي بطبقة من أكاسيد الروثينيوم والتيتانيوم Dimensionally Stable Anodes (RuO ₂ /TiO ₂)	DSA(RuO ₂ /TiO ₂)
قطب الأكاسيد المختلطة Mixed Metal Oxide	MMO

المُستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى إعادة تدوير المحلول الملحي الراجع (Brine) لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم باستخدام عملية التحليل الكهربائي، حيث يعد الكلور الحر المتكون أثناء العملية الكون الأساسي والمباشر في تصنيع هيبوكلوريت الصوديوم، وتم تقييم كمية الكلور الحر من خلال تأثير عدد من المتغيرات التشغيلية، تشمل نوع الأقطاب والمسافة الفاصلة بينهما والجهد الكهربائي المطبق ومساحة سطح القطب.

أظهرت نتائج الدراسة أنّ القيمة المثلى للإنتاج كانت عند الجهد (5.0 V و 1.0 cm)، باستخدام قطب DSA (RuO₂/TiO₂) بقيمة تركيز (582.2 ppm) عند (100 min)، مع معدل فرق في الكتلة يتراوح بين (0.00 g - 0.05 g)، مما يؤكد استقرارية ومقاومة أنود التيتانيوم للتآكل.

أظهرت نتائج أقطاب الجرافيت (C، C*) كفاءة أقل في الإنتاج والاستقرارية، حيث أعطت أعلى تركيزاً لها عند (5.0 V، 1.0 cm) بقيمة (182 ppm) عند (80 min)، مع معدل استهلاك كبير لكتلة الأنود وزيادة في كتلة الكاثود يقع بين (0.19 g - 0.25 g) على التوالي خصوصاً عند الجهود العالية. بيّنت النتائج أنّ زيادة مساحة سطح أقطاب الجرافيت أدت إلى تحسّن ملحوظ في كفاءة الإنتاج، بلغت (182 ppm) بمقابل (101 ppm) لأقطاب الجرافيت ذات مساحة السطح الأقل، عند نفس الظروف التشغيلية.

من خلال النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، تبين أنّ أنود التيتانيوم المستقر الأبعاد DSA هو الخيار الأمثل لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الملحي الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس.

Abstract

This study aims to recycle the returned saline solution (Brine) to produce sodium hypochlorite using the electrolysis process, where the free chlorine generated during the process is the main and direct component in the manufacture of sodium hypochlorite. The amount of free chlorine was evaluated through the effect of several operating variables, including the type of electrodes, the distance between them, the applied electrical voltage, and the electrode surface area. The results of the study showed that the optimum production value was achieved at a voltage of (5.0 V and 1.0 cm), using a DSA electrode ($\text{RuO}_2/\text{TiO}_2$), with a concentration of (582.2 ppm) at (100 min), and a mass difference rate ranging between (0.00 g – 0.05 g), which confirms the stability and corrosion resistance of the titanium anode. The results of graphite electrodes (C, C*) showed lower efficiency in production and stability, as they gave their highest concentration at (5.0 V, 1.0 cm) with a value of (182 ppm) at (80 min), along with a high anode mass consumption rate and an increase in cathode mass ranging between (0.25 g – 0.19 g), respectively, especially at high voltages. The results indicated that increasing the surface area of the graphite electrodes led to a noticeable improvement in production efficiency, reaching (182 ppm) compared to (101 ppm) for graphite electrodes with a smaller surface area, under the same operating conditions.

Based on the results obtained in this study, it was found that the dimensionally stable titanium anode (DSA) is the optimal choice for producing sodium hypochlorite from the returned brine solution from the West Tripoli desalination plant.

الفصل الأول

الإطار النظري

1. مقدمة

1.1 دور تحلية المياه في حل مشكلة ندرة المياه في ليبيا

إن ندرة المياه من الأمور المعروفة على نطاق واسع كونها مصدر قلق كبير يواجه البشرية في الوقت الحاضر (AL-Yaqubi *et al.*, 2007) وبالتحديد ليبيا، ووفقاً لبعض التقارير فهي تعد من أكثر الدول التي تواجه إجهاداً مائياً، حيث يبلغ معدل الإجهاد المائي الأساسي فيها 4.84. وقد صُنفت باستمرار كواحدة من أكثر المناطق انعداماً للأمن المائي في العالم (World Resources Institute, 2013, 2015)، ومن ضمن الأسباب التي أدت إلى ذلك الاستهلاك المفرط لأهم مصادر المياه التقليدية المتمثلة في المياه الجوفية وكذلك انخفاض متوسط هطول الأمطار السنوي ونقص الوعي العام بضرورة الاستخدام الرشيد في الموارد المائية وغيرها من الأسباب الأخرى (Verhoeven, 2004 & Wheida). يُعد ماء البحر مصدراً مثالياً لتقنية تحلية المياه، فهو مورد لا ينضب ويتمتع بحركة مستمرة، مما يجعله الخيار الأفضل للاستخدام البشري والصناعي (Saleem, 2011).

تقنية تحلية مياه البحر ثاني أهم مورد مائي غير تقليدي معتمد في ليبيا، حيث استخدمت تقنية تحلية المياه في ليبيا منذ أوائل ستينيات القرن الماضي، حيث تمتلك ليبيا حوالي 21 محطة تحلية مياه على طول الساحل الليبي (Ghurbal, 2004 & Ashour). على الرغم من أن جميعها مملوكة للحكومة، إلا أنه توجد ثلاث مؤسسات مسؤولة عنها وهي الشركة العامة للكهرباء، الشركة العامة لتحلية المياه، والشركة العامة للمياه والصرف الصحي (Brika, 2018).

تعتبر محطة غرب طرابلس لتحلية المياه إحدى المحطات الرئيسية في ليبيا التي تعمل بتقنية التقطير متعدد التأثير مع الضغط الحراري للبخار (MED-TVC)، حيث تساهم في توفير المياه العذبة للاستهلاك البشري والصناعي. تعتبر الشركة العامة للتحلية في ليبيا (GDCOL) الجهة المسؤولة حالياً عن تشغيل محطة تحلية غرب طرابلس، بينما كانت سابقاً تحت إشراف الشركة العامة للكهرباء (GECOL) قبل عام 2010.

تواجه المحطة تحديات تشغيلية تتعلق بالتمويل والصيانة ونقص العمالة الماهرة بسبب انسحاب بعض الشركات الدولية التي كانت مسؤولة عن التوسعة والصيانة بعد الأحداث السياسية في ليبيا، مما يؤثر على استدامة تشغيلها بكفاءة (El-Hajaji, 2017).

وبشكل عام تعتمد عملية تحلية المياه، سواء كانت قليلة الملوحة أو مياه البحر، على خمسة عناصر أساسية:

- 1. منطقة مدخل مياه المحطة:** تُعد المدخل الرئيسي لنظام التحلية. في هذه المرحلة، يتم سحب المياه الخام من مصدرها الطبيعي وتوجيهها نحو المراحل اللاحقة لمعالجتها وفق تقنيات متقدمة، مما يضمن كفاءة العملية وجودة المياه المنتجة.
- 2. المعالجة الأولية:** يتم تجهيز المياه من خلال الترشيح وإزالة الكائنات الحية الدقيقة، لضمان جودتها واستيفائها للمعايير المطلوبة للمرحلة التالية.
- 3. عملية التحلية:** تُعد هذه المرحلة الأساسية في العملية، حيث يتم فصل الأملاح والمعادن الأخرى من المياه الخام.

4. مرحلة ما بعد المعالجة: في هذه المرحلة، يتم معالجة المياه المحلاة باستخدام مواد كيميائية مضافة لضمان مطابقتها للمعايير المطلوبة للاستهلاك البشري والصناعي.

5. إدارة المُرَكَّز (المحلول الملحي): تتضمن هذه المرحلة التخلص من المُنْتَج الثانوي النهائي (Brine) وفق الأساليب المعتمدة في عمليات التحلية (Krishna, 2004).

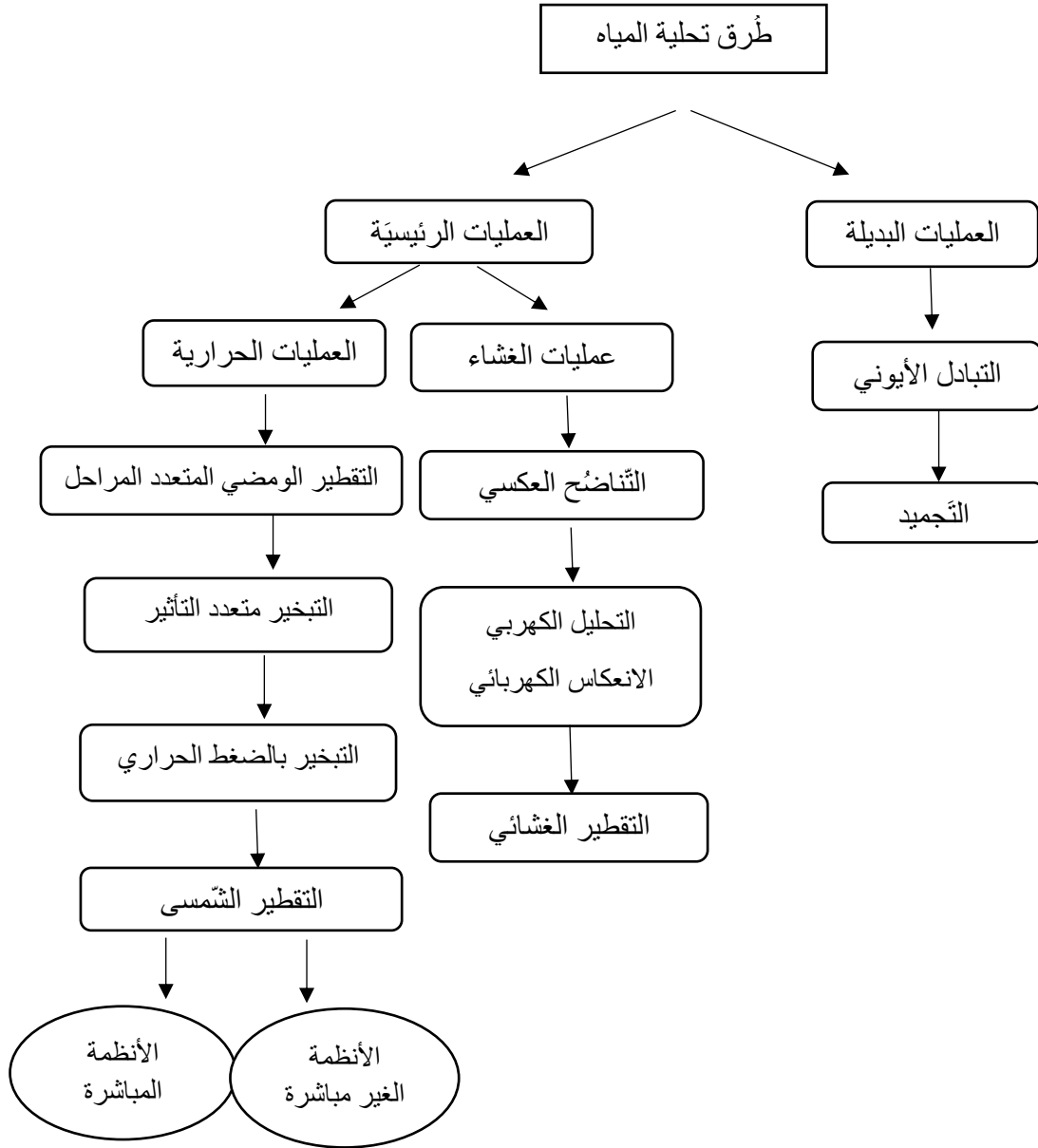
جدول (1.1) عدد المحطات على الساحل الليبي (Brika, 2019)

الموقع	نوع التحلية	السعة m ³ /d	عدد الوحدات	سنة التشغيل
طبرق	MED-TVC	40,000	-	1977
بومبا	MSF	30,000	3	1988
درنة	MED-TVC	40,000	-	-
سوسة	MED-TVC	10,000	2	2000
توسعة سوسة	MED-TVC	40,000	-	-
أبو ترابة	MED-TVC	40,000	-	2006
زليتن	MED	30,000	3	1992
الزاوية	MED-TVC	80,000	-	-
زواردة	MED	40,000	-	2006
توسعة زواردة	MED-TVC	40,000	-	-
طبرق	MSF	24,000	4	1977
تاجوراء	RO	10,000	2	1984
مصراة	MSF	30,000	3	1987
سرت	MSF	10,000	1	1986
الزاوية مزدوجة	MED	2×2,500	2	2006
غرب طرابلس	MED-TVC	2×5,000	2	1999
الخمسة	MSF	3×10,560	4	1985
بنغازي الشمالية	MED-TVC	1×4,800	1	2005
بنغازي الشمالية مزدوجة	MED-TVC	2×2,500	2	2007
درنة	MED-TVC	1×4,700	1	1998
هراوة	MSF	1×500	1	1989
إجمالي السعة التصميمية		525,680		

1.2 تقنيات تحلية المياه

تم اعتماد عدة عمليات لتحلية المياه، ولا يزال بعضها قيد الدراسة والتطوير. ومع ذلك، فإن أكثر الطرق شيوعاً يمكن تصنيفها إلى نوعين رئيسيين: العمليات الحرارية القائمة على تغيير الطور والعمليات الغشائية، كما هو

موضح في الجدول (1.1)، وتستخدم كل من هاتين الطريقتين أساليب محددة في التحلية. بالإضافة إلى ذلك، هناك طرق أخرى مثل التجميد والتبادل الأيوني، لكنها أقل انتشارًا. وبشكل عام، تعتمد جميع تقنيات التحلية على مصادر طاقة تقليدية أو بديلة لإنتاج المياه المحلاة (Shatat and Riffat, 2012). وسيركز هذا البحث على الناتج الثانوي للتقنية الحرارية لتحلية المياه.



مخطط رقم (1.1) طرق التحلية (Shatat and Riffat, 2012).

1.3 آليّة عمل محطة غرب طرابلس لتحلية المياه (WTRIS)

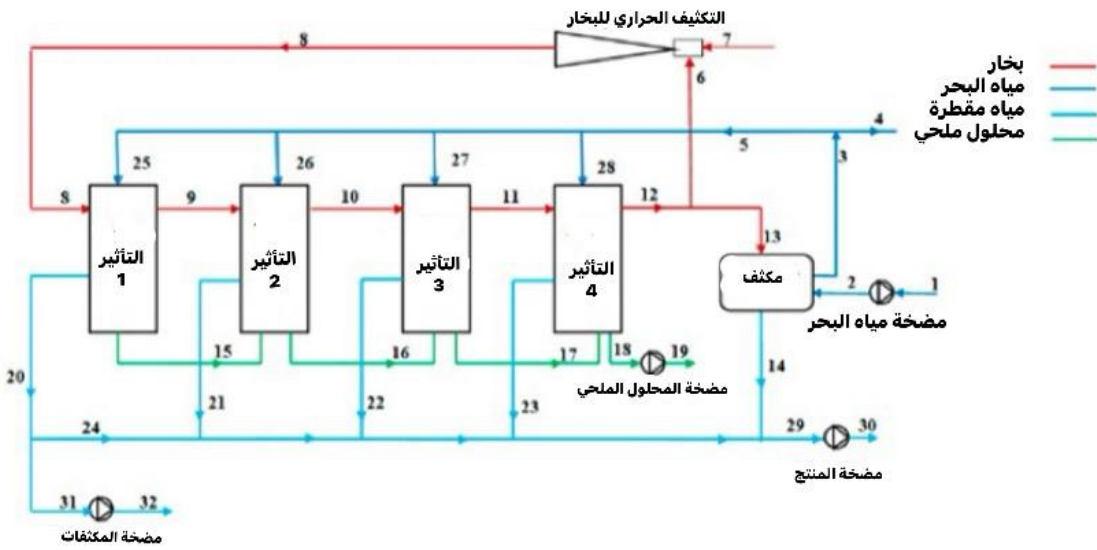
تعمل المحطة بنظام التبخير مُتعدّد التأثيرات مع الضّغط الحراري للبخار (MED-TVC) وتُعتبر من أكثر الطرق كفاءة في تحلية مياه البحر، حيث تعتمد على إعادة استخدام الطاقة الحرارية الناتجة عن تكثيف البخار في كل مرحلة، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة وتحسين الأداء الحراري (Belessiotis *et al.*, 2016).

وفقاً لـ (Khawaji *et al.*, 2008)، تبدأ العملية بتسخين مياه البحر المالحة عبر بخار ساخن قادم من الغلاية، ممّا يؤدي إلى تبخّر جزء من المياه في التأثير الأول. يُستخدم البخار الناتج من التأثير الأول كمصدر حرارة للتأثير الثاني، وتستمر العملية عبر عدة تأثيرات مُتتالية، حيث يتم تخفيض الضّغط تدريجياً لضمان التبخير بكفاءة عالية.

في المرحلة الأخيرة، يتم ضغط جزء من البخار غير المُكثف باستخدام الضّغط الحراري للبخار (TVC)، حيث يتم مزجه مع بخار عالي الضّغط لإعادة استخدامه في التسخين، ممّا يزيد من كفاءة استهلاك الطاقة (Miller, 2003). ومن مزايا هذا النظام، تحسين الكفاءة الحرارية حيث يتم إعادة استخدام الحرارة الكامنة للبخار عدّة مرّات، مما يُقلل من الحاجة إلى تسخين إضافي (Raluy *et al.*, 2006).

انخفاض معدل التآكل وتكوّن الترسبات نظراً لأن درجات حرارة التّشغيل أقل من 70 C° ، فإن هذه التقنية تحد من تراكم الأملاح والتآكل في الأنابيب، مما يقلل من تكاليف الصيانة (Shatat and Riffat, 2012)، ومن ضمن المزايا أيضاً زيادة الإنتاجية حيث يمكن لأنظمة TVC أن تصل إلى سعة إنتاجية حوالي 20,000 م³/يوم، مما يجعلها مناسبة للمحطات متوسطة إلى كبيرة الحجم (Miller, 2003).

أمّا بالنسبة لمحطة غرب طرابلس (WTRIS) فإنّها تُنتج حوالي 10,000 متر مكعب يومياً، مع إجمالي محلول ملحي مُتخلص منه يبلغ 6666 متر مكعب يومياً (El-Hajaji, 2017).



مخطط رقم (1.2) نظام MED-TVC لمحطات التحلية (Fergani *et al.*, 2023)

1.4 الآثار السلبية لمحطات التحلية على البيئة البحرية

بالرغم من الاستفادة العظيمة من تقنية التحلية وتلبية الاحتياجات لعمليات تحلية المياه آثار بيئية عديدة من شأنها إلحاق الضرر بالبيئة البحرية (Dupavillon and Gillanders, 2009).

فعند سحب مياه البحر إلى المحطة يتم جر واصطدام الكائنات البحرية (Shokri and Sanavi Fard, 2023) وتتمثل الأضرار أيضًا في الانبعاثات السامة واستهلاك الطاقة وتصريف المحلول الملحي مباشرة في ماء البحر وهذه لها الأثر الأكثر تدميرًا للبيئة البحرية (Bleninger and Jirka, 2008, Bleninger *et al.*, 2010) فعند تصريفه لمياه البحر مرة أخرى تكون حرارته عالية وكثافته الكيميائية وملوحته عالية وهذا ما يجعله الأكثر تدميرًا للبيئة البحرية (Lattemann and Höpner, 2008).

محطات التحلية الساحلية بمختلف أنظمتها تصرف ناتج ثانوي متمثل في محلول شديد الملوحة باستمرار (Frank *et al.*, 2017). تشير الأبحاث إلى التأثير السلبي للمحلول الملحي على الكائنات البحرية خاصة شوكرات الجلد وذوات المصرعين، بالإضافة إلى أعشاب البحر والطحالب الكبيرة (Castriota *et al.*, 2001). علاوة على ذلك، ثمة مؤشرات على أن محطات تحلية المياه الواقعة على الساحل الليبي ستسبب في حُموضة المحيطات مُستقبلاً، نتيجة لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، لأن معظم هذه المحطات تعمل بالوقود الثقيل (El-Hajaji, 2017).

1.5 الأثر البيئي لتصريف المحلول الملحي لمحطة غرب طرابلس لتحلية مياه البحر (WTRIS) على الساحل الليبي

1.5.1 تأثير التصريف الملحي على الأسماك

تأثرت الأنواع مثل *Xyrichtys novacula* و *Diplodus annularis* على ساحل محطة غرب طرابلس، حيث لوحظ تناقص أعدادها في المناطق ذات الملوحة المرتفعة بالقرب من نقطة التصريف. يُعزى هذا التناقص إلى زيادة تركيز الأيونات مثل الصوديوم والكلوريد، بالإضافة إلى انخفاض الأكسجين المُذاب في الماء، مما يؤدي إلى ظروف غير ملائمة لبقاء هذه الأسماك.

1.5.2 تأثير التصريف الملحي على النباتات البحرية

أثر المحلول الملحي سلباً في انخفاض نسبة تغطية الأعشاب البحرية، لا سيما نوع *Cymodocea nodosa*، حيث انخفضت نسبة التغطية من 42.67% في المناطق البعيدة عن التصريف إلى 0% في المواقع القريبة من المصب. تُعزى هذه التغيرات إلى ارتفاع الملوحة وتراكم المعادن الثقيلة في مياه البحر، مما يؤثر سلباً على قدرة النباتات البحرية على النمو والتكاثر.

كما لوحظ ازدياد نمو الطحالب الضارة في المناطق القريبة من التصريف، مما يشير إلى اختلال التوازن البيئي بسبب التغيرات الكيميائية في المياه.

تؤكد النتائج أنّ تصريف المحطة يؤثر على التوازن الأيوني للمياه، مما يؤدي إلى اضطرابات في النظم البيئية البحرية، وانخفاض الأكسجين المُذاب، الناتج عن زيادة الملوحة والتغيرات الكيميائية، يُشكّل خطراً على التنوع البيولوجي البحري. قد تؤدي هذه التغيرات إلى هجرة بعض أنواع الأسماك من المنطقة المتأثرة، مما قد يؤثر على سلسلة الغذاء البحرية.

توضّح هذه الدراسة أن تصريف المياه المالحة من محطة غرب طرابلس (WTRIS) يؤثر سلبيًا على التنوع البيولوجي البحري، مما يتطلب تبني حلول بيئية فعالة لتقليل التأثيرات السلبية وضمان استدامة النظم البيئية الساحلية (El-Hajaji, 2017).

وأخذًا بالتوصيات لهذه الدراسة وقع الاختيار على محطة غرب طرابلس (WTRIS) لتحلية المياه لأن البيئة البحرية على الساحل هناك خضعت لدراسة وتقييم الأثر البيئي السلبي للمحطة عليها.

1.5.3 مفهوم المحلول الملحي "Brine" وخصائصه

هو منتج ثانوي أو نهائي لعملية تحلية المياه ويمكن تعريفه على أنه تصريف مياه شديدة الملوحة من محطة غشائية، أو تصريف مياه شديدة الملوحة وساخنة من محطة تحلية حرارية.

1.5.4 الخصائص الفيزيائية

يتضمّن المحلول الملحي أيضاً مواد كيميائية مختلفة، مثل مضادات التلوث ومواد منع التكلّس أو التخرّس لإزالة المواد الصلبة العالقة، إضافةً إلى مضادات الرغوة والملوّثات الناتجة عن التآكل مثل المعادن الثقيلة، حيث تُضاف جميع هذه المواد أثناء المعالجة التمهيدية للمياه وكذلك خلال المعالجة اللاحقة للمياه المنتجة (Semblante *et al.*, 2018).

1.5.5 الخصائص الكيميائية

يحتوي على تراكيز متفاوتة من الأملاح و المعادن بما في ذلك Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ و Ca^{+2} و Mg^{+2} و K^+ و Fe^{+2} و Cu^{+2} وذلك حسب جودة مياه البحر و نوعها (Hu, 2014; Abdulsalam *et al.*, 2017). تكون مِلوحة هذا المحلول ضعيف مِلوحة ماء البحر وهو شديد التركيز، ممّا يؤدي إلى غرقه في قاع البحر حيث يتدفق كتيار كثيف (Bleninger *et al.*, 2010; Arafat, 2017; Torquemada *et al.*, 2005).

جدول (1.2) المواد الكيميائية الأكثر استخداماً في المعالجة المُسبقة لتحلية مياه البحر بالتقنية الحرارية (Darwish *et al.*, 2013; WHO, 2007).

اسم المادة الكيميائية المضافة	معدل الجرعة وموقعها	الغرض من الاستخدام والتطبيق
عامل مؤكسد أو مضاد للكائنات البحرية (الكلور)	تُحقن جرعات منتظمة ومتفرقة من الكلور النشط بتركيز (0.5 ppm - 2 ppm) حسب ظروف الموقع. يتم حقن 3.7 ppm لمدة 30-120 دقيقة على فترات 1-5 أيام (1.0 ppm) في مناطق السحب الواسعة لمياه البحر.	للحد من ظهور الكائنات البحرية في مدخل مياه البحر لجميع طرق تحلية المياه الحرارية.
مضادات الترسب (الفسفونات، الفوسفات المتعدد، البولي مالنيك، الأحماض الكربوكسيلية المتعددة، أو خليط من عدة مواد منها).	- يتم حقن الجرعات عند نقطة خط مياه التعويض بمقدار (1 ppm - 8 ppm)، بينما يتم حقن حوالي 100 ppm في مياه التغذية. للحد من ترسبات $Mg(OH)_2$ ، $(CaCO_3)$ ، يتم أحياناً استخدام حمض الكبريتيك (H_2SO_4) لتقليل الرقم الهيدروجيني، ولكن نادراً ما يتم استخدامه.	للسيطرة على ترسبات $Mg(OH)_2$ و $(CaCO_3)$ في جميع وحدات التحلية الحرارية.
مُضادات الرغوة (بولي إيثيلين أوكسيد أو مادة خافضة للتوتر السطحي مماثلة).	يتم حقن مياه التعويض بجرعة 0.1 ppm من مضاد الرغوة.	لمنع تكوّن الرغوة داخل خلايا المُبخّر، ويتم تطبيقها بشكل مُتقطع في جميع عمليات التحلية الحرارية، ولكنها تُستخدم بشكل أساسي في التقطير مُتعدد المراحل.

1.5.6 مُعدّلات تدفق تصريف المحلول الملحي

يكون حجم المحلول الملحي المُصرّف من عمليات التحلية أكبر من حجم المياه العذبة المنتجة. وعادةً ما يتم خلط مياه الصرف بالمياه المستخدمة في التبريد قبل تصريفها، وتتميز بملوحة عالية إلى جانب الملوثات الكيميائية، مما يشكل التهديد الأكبر للبيئة البحرية. وبشكل عام، عند معالجة مياه البحر أو المياه قليلة الملوحة عبر عملية التحلية، يتم إنتاج حوالي 40% من المياه العذبة و60% من المحلول الملحي. (Trieb, 2007).

1.6 حداثة البحث

في السنوات الأخيرة، لم تحظ مسألة إدارة تصريف المحلول الملحي الناتج عن محطات التحلية بالاهتمام الكافي (Ahmed *et al.*, 2000; Cipollina *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012).

وبناءً على ذلك، تم اختيار محطة تحلية غرب طرابلس لدراسة إمكانية إعادة تدوير المحلول الملحي الناتج عن محطة التحلية الحرارية (MED-TVC) وإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم المعروف بالاسم الشائع في ليبيا "الوركينه" والاستفادة منه في عمليات الحقن للتطهير المبدئي أثناء عمليات المعالجة التمهيدية بالإضافة إلى دوره في حل مشكلة بيئية التي سنتفاهم مع مرور السنوات إذا ما عولجت بأسرع وقت ممكن.

1.7 الهدف من البحث

إلى أي مدى يُمكن الاستفادة من المحلول الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس، وكيفية إدارة التخلص من المحلول الملحي وبالتالي التقليل من التلوث البيئي البحري الحاصل على الساحل الليبي بسبب المحلول الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس وذلك في إمكانية استغلاله بإعادة تدويره على شكل هيبوكلوريت الصوديوم باستخدام تقنيات كهروكيميائية مختلفة وبالتالي الحصول عليه من مصدر رخيص بدلاً من تكلفة شراءه.

1.8 مُميّزات البحث

عملية إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الملحي في الموقع أكثر استدامه من الناحية الاقتصادية وصدقية للبيئة مقارنة بالطرق الأخرى التي ينتج عنها نفايات سامة. واستناداً على هدف البحث ومُميّزاته لا بد من استعراض هيبوكلوريت الصوديوم وتوضيح أهم خصائصه ودوره في العديد من التطبيقات العلمية والصناعية.

1.9 هيبوكلوريت الصوديوم

1.9.1 تعريف

عبارة عن محلول مائي رائق ذو لون أصفر مائل للاخضرار حسب تركيز الهيبوكلورايت، ويستعمل كُمبيض ومُطهر للملابس والأرضيات والأدوات المنزلية، ولإزالة الروائح الكريهة، وفي تطهير المياه حسب تعريف المواصفة الليبية رقم 70 (المُلحق 1).

يوجد هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) على شكل أيونات هيبوكلوريت ويعرف عادةً بالكلور الحر، وهو عامل مؤكسد قوي يُستخدم على نطاق واسع في معالجة المياه ومياه الصرف الصحي لمنع التلوث في مختلف أنظمة الأغشية (Henwood, 2020).

يُعد هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) المُطهر الأكثر استخداماً في صناعة الأغذية، على الرغم من توافر العديد من المُطهرات الأخرى بشكل متزايد، حيث يتميز بامتلاكه العديد من الخصائص التي تجعله مطهراً مثالياً، بالإضافة إلى فعاليته الممتازة في عمليات التَّنظيف. تعتمد كفاءة هيبوكلوريت الصوديوم في عمليات التَّنظيف والتطهير على تركيز الكلور المُتاح ودرجة حموضة المحلول [pH] (Fukuzaki, 2006). ويعد اليوم من أكثر المطهرات المنزلية انتشاراً واستخداماً في العالم (Ponzano, 2007).

1.9.2 تاريخ هيبوكلوريت الصوديوم

بعد اكتشاف الغاز المعروف باسم "روح الملح منزوع الفلوجستون" عام 1774 بواسطة الكيميائي السويدي كارل ويلهلم شيله، قام الكيميائي الفرنسي كلود-لويس بيرثوليه في عام 1787 بتحضير محاليل مبيضة عن طريق إذابة هذا الغاز في الماء. وفي عام 1810، أطلق الكيميائي الإنجليزي همفري ديفي على هذا الغاز اسم "الكلور".

1.9.3 استخدامات هيبوكلوريت الصوديوم في الطب

يستخدم في عمليات التعقيم فهو أكثر المحاليل استخدامًا في علاج جذور الأسنان نظرًا لخصائصه المضادة للميكروبات وقدرته على إذابة الأنسجة، تؤدي العوامل المختلفة مثل التركيز، ودرجة الحرارة، والتحرك، والتوتر السطحي إلى تحسين فعالية هيبوكلوريت الصوديوم في إذابة الأنسجة بما يصل إلى 50 ضعفًا (Stojicic et al., 2010). آلية عمله تعتمد على اختراق غشاء الخلية للكائنات الدقيقة والتفاعل مع نظامها الإنزيمي، مما يؤدي إلى قتلها (Ponzano, 2007).

1.9.4 التطور الصناعي وإنتاج المحاليل المبيضة

في باريس، قامت شركة "سوسيتيه جافيل" التي يديرها ليونارد ألبان باستخدام عملية بيرثوليه لإنتاج محاليل مبيضة صناعية من غاز الكلور المذاب في الماء.

عام 1787، تم تعديل العملية بإضافة الكلور إلى كربونات الصوديوم بدلًا من الماء، مما أدى إلى الحصول على محلول أكثر استقرارًا وفعالية في التبييض، عُرف باسم "ماء جافيل" وكان محلولًا من هيبوكلوريت الصوديوم.

1.9.5 تحسينات لاحقة واستخداماته

في عام 1820، استبدل لآباراك محلول البوتاس بمحلول أكثر اقتصادًا وهو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، مما أدى إلى إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl)، والذي سُمي "ماء لآباراك"، واشتهر كمطهر ومبيض واسع الاستخدام. على الرغم من أن هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) أقل فاعلية كمطهر مقارنة بحمض الهيبوكلوروز (HOCl)، إلا أنه يعمل كخزان لتكوين الحمض لاحقًا من خلال التحلل المائي (Ponzano, 2007).

1.9.6 جودة محلول هيبوكلوريت الصوديوم

يجب التنويه إلى أنه يجب ألا يحتوي على الأيونات المعدنية مثل النيكل، النحاس أو الحديد، أو المواد الصلبة العالقة مثل الجرافيت (Ponzano, 2007).

علاوة على ذلك، يجب أن يتم تخزين ومعالجة المنتج بطريقة صحيحة. هناك بعض الاحتياطات التي يجب اتخاذها:

- 1- تركيز منخفض من الكلورات.
- 2- الحد من تحلل المنتج.
- 3- خلوه من الرواسب.
- 4- إنتاج ضئيل للأوكسجين.

1.9.7 استقرار محاليل هيبوكلوريت الصوديوم

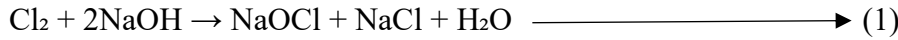
يعتمد استقرار محاليل هيبوكلوريت الصوديوم على بعض العوامل:

- 1- تركيز الهيبوكلوريت.
- 2- درجة الحرارة.
- 3- القلوية وقيمة الرقم الهيدروجيني pH.
- 4- تركيز الشوائب التي تُحَفِّز التحلُّل أو إنتاج الكلورات.
- 5- التعرُّض للضوء.

1.10 تقنيات إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم

1.10.1 الطريقة الكيميائية

يتفاعل الكلور مع محلول هيدروكسيد الصوديوم، مما يؤدي إلى تكوّن هيبوكلوريت الصوديوم وكلوريد الصوديوم والماء، كما هو موضح في المعادلة التالية:



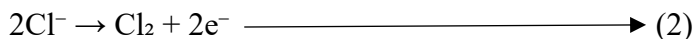
تنتج هذه الطريقة محاليل عالية التركيز، إلا أن خصائصها تجعلها غير مناسبة للاستخدامات البديلة (Ronco and Mishkin, 2007).

1.10.2 الطريقة الكهروكيميائية لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم في الموقع

يتكون هيبوكلوريت الصوديوم عن طريق التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم الموجود في مياه البحر أو المحاليل الملحية في بيئة محكمة (Saleem, 2011).

يحدث تفاعل كيميائي طارد للحرارة عند تطبيق تيار كهربائي مستمر (DC) على مياه البحر المتدفقة عبر جهاز التحليل الكهربائي المجهز بأقطاب كهربائية مخصصة، مما يؤدي إلى تحويلها إلى محلول هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl). حيث يتفكك كلوريد الصوديوم (NaCl) إلى أيون الصوديوم (Na⁺) وأيون الكلوريد (Cl⁻) نتيجة للتحليل الكهربائي لمحلول مائي من كلوريد الصوديوم، كما هو موضح في المعادلة التالية:

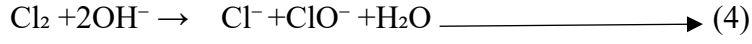
• عند المصعد (الأنود)، يتولد الكلور الحر:



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



تنتقل أيونات الهيدروكسيد (OH^-) مع الكلور (Cl_2)، مما يؤدي إلى تكوين الهيبوكلوريت



تحتوي مياه البحر على نسبة عالية من أيونات العسرة، مما يؤدي إلى وجود بعض المواد مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ومعادن أخرى تتشكل على هيئة هيدروكسيدات و كربونات. تتصلب هذه المواد ويتم إزالتها من جهاز التحليل الكهربائي بواسطة تيار مياه البحر. وفي الوقت نفسه، تتراكم بعض الرواسب الكاثودية على السطح، مما يستلزم تنظيفها كيميائياً بشكل دوري (Thangappan and Sampathkumaran, 2008).

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

2.1 الدراسات السابقة

1- البحث الذي أجراه (Rabah & Aldalou, 2023)، في فلسطين وتم إنتاج NaOCl بالتحليل الكهربائي للمحلول الملحي.

هدفت الدراسة إلى تحديد الظروف التشغيلية المثلى لإنتاج NaOCl من المحلول الملحي عبر دراسة تأثير خمسة متغيرات رئيسية: زمن التحليل الكهربائي، كثافة التيار، نوع الأقطاب، تباعد الأقطاب، واستقرار المنتج النهائي. أظهرت النتائج أن استخدام أقطاب الجرافيت بقطر 1.3 cm وتباعد 1 cm مع كثافة تيار 180 mA/cm² وزمن تحليل كهربائي 120 دقيقة أدى إلى تحقيق أعلى تركيز من NaOCl بلغ 2.17 %، وهو تركيز مناسب للاستخدام في عمليات التعقيم. كما بينت الدراسة أن معدل تحلل NaOCl يزداد عند التعرض لأشعة الشمس بنسبة 10 % يوميًا مقارنةً بـ 1.8 % فقط عند تخزينه في الظلام، مما يؤكد ضرورة تخزينه في أماكن مظلمة للحفاظ على استقراره.

2- في دراسة أجراها (Saleem *et al.*, 2012)، في السعودية تم إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم باستخدام تقنية التحليل الكهربائي في الموقع، تناولت الدراسة تأثير عدة متغيرات تشغيلية، مثل نوع الأقطاب، كثافة التيار، نسبة مساحة القطب الموجب إلى القطب السالب، والمسافة بين الأقطاب. وأظهرت النتائج أن استخدام أقطاب التيتانيوم المطلية بمادة الأنود المستقرة (DSA) حقق كفاءة عالية واستقرارًا طويل الأمد في الإنتاج. كما حددت الدراسة أن الكثافة الحالية المثلى لإنتاج NaOCl هي 72.4 mA/cm²، وأن نسبة سطح القطب الموجب إلى القطب السالب المثلى هي واحد، في حين كانت المسافة المثلى بين الأقطاب 7 cm.

3- أجرى Afify *et al.* (2023) دراسة في مصر هدفت إلى إنتاج مركب هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) اعتمادًا على المياه الراجعة من محطات التحلية، مع تقييم تأثير مجموعة من المتغيرات التشغيلية، مثل نوع الأقطاب المستخدمة، وكثافة التيار، ومعدل تدفق المياه، والمسافة بين الأقطاب، وتركيز الملح في المحلول. وقد بينت النتائج أن استخدام أقطاب الجرافيت المسامية أسهم في رفع كفاءة الإنتاج وتحسين انتقال الكتلة، مما أدى إلى تحقيق إنتاجية مستقرة وفعالة من NaOCl. كما خلصت الدراسة إلى أن أفضل ظروف تشغيلية تحققت عند: كثافة تيار 3.183 mA/cm²، ومعدل تدفق 4.5 ml/min، ومسافة بين الأقطاب 0.5 cm، وتركيز ملحي 40,000 ppm، مع استهلاك طاقة قدره 0.0137 kWh. وأوضحت النتائج أن زيادة كثافة التيار وتركيز الملح، مقابل خفض معدل تدفق المياه، يساهم في تعزيز إنتاجية هيبوكلوريت الصوديوم.

4- في البرازيل، قدّم Baydum & Sarubbo (2022) بحثًا تناول إمكانية إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم اعتمادًا على المحلول الملحي الراجع من محطة التحلية في أرخبيل فرناندو دي نورونيا. وتم تنفيذ عملية التحليل الكهربائي لمدة 24 ساعة باستخدام خلايا تحليلية مزودة بأقطاب من التيتانيوم، مع قياس تركيز NaOCl الناتج وتقييم فعالية المحلول في القضاء على البكتيريا الممرضة.

وأظهرت النتائج أن التحليل الكهربائي استطاع إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز يتراوح بين 2.27 % و 3.61 %.

5- أوضح (Ceyhan *et al.*, 2024) في تركيا دراسة بيّنت تطوير طرق متقدمة لإنتاج هيبوكلوريت الصوديوم اعتمادًا على تقنيات كهروكيميائية حديثة. حيث قام الفريق بابتكار أقطاب كهربائية مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ ومطلية بالتيتانيوم والمحمّلة بجزيئات Mn(III). وكشفت نتائج البحث عن زيادة في كفاءة الإنتاج بلغت 40 % مقارنة بالطرق التقليدية، مما يدعم تحسين الأداء الصناعي وتقليل الآثار البيئية المرتبطة بالعمليات الكيميائية.

6- وفي المملكة المتحدة، تناول (Tota-Maharaj & Tota-Maharaj (2022) موضوع إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم من المحلول الملحي الناتج عن التحلية، وذلك في دراسة نُشرت في *Institute of Water Journal* وأظهرت البيانات أن التحليل الكهربائي لمحلول بتركيز 3.5 % - 3.0 % NaCl، يمكن أن ينتج NaOCl بتركيز يتراوح بين 1.0% - 0.7% ، مما يجعله خيارًا أكثر أمانًا وفعالية من غاز الكلور المستخدم في التعقيم. واعتمد الباحثان على أقطاب أنودية من التيتانيوم المطلية بأكاسيد معدنية نشطة، بالإضافة إلى استخدام التيتانيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ في الكاثود، الأمر الذي حسن من كفاءة العملية وأطال عمر الأقطاب. كما أشارت الدراسة إلى أنّ هذه التقنية تُسهم في الحد من الأثر البيئي لتصريف المحلول الملحي، خصوصًا عند دمجها مع مصادر الطاقة المتجددة.

7- الدراسة التي أجراها (Mavukkandy *et al.* 2019) في جامعة خليفة للعلوم والتكنولوجيا، الإمارات العربية المتحدة، حول إدارة المحلول الملحي. نُشرت الدراسة عام 2019 في مجلة *Desalination*. وأظهرت الدراسة أن إعادة استخدام المحلول الملحي بدلاً من تصريفه في البيئة يمكن أن يقلل من الأثر البيئي لمحطات التحلية، ويوفر منتجًا كيميائيًا ذا قيمة اقتصادية.

تم استخدام أقطاب من التيتانيوم المطلي بأكاسيد معدنية نشطة (الروثينيوم والإيريديوم) في الأنود لتحسين إنتاج الكلور، بينما استُخدم التيتانيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ في الكاثود لاختزال الماء وإنتاج الهيدروجين. وقد تم إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز يتراوح بين 0.7% - 1.0% من خلال التحليل الكهربائي لمحلول الملح الناتج عن التحلية، وبلغت كفاءة تحويل كلوريد الصوديوم (NaCl) إلى NaOCl أكثر من 80% في الظروف المثلى، في حين كان استهلاك الطاقة في حدود 4.5 kWh - 6.0 kWh لكل كيلوجرام من NaOCl المنتج. وأظهرت الأقطاب المصنوعة من التيتانيوم المطلي بأكاسيد الروثينيوم والإيريديوم ثباتًا عاليًا بعد أكثر من 1000 ساعة تشغيل مستمرة.

الفصل الثالث

المواد وطرق البحث

3.1 منطقة الدراسة

أجريت هذه الدراسة على محطة غرب طرابلس لتحلية المياه (WTRIS) في أكتوبر 2025، فقد تم إنشاؤها عام 1999 من قبل شركة SIDEM الفرنسية وتقع إلى الغرب من مدينة طرابلس، وتم إجراء التجارب العملية في معمل الهندسة البيئية بكلية الهندسة جامعة صبراتة على المحلول الملحي.



الشكل (3.1) موقع محطة تحلية غرب طرابلس (Google Maps, 2025)

3.2 المواد والكيماويات المستخدمة في هذه الدراسة

ماء راجع من محطة تحلية غرب طرابلس، ماء مقطر لغسل الأدوات وتخفيف التركيز.
كاشف DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine).

3.3 الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذه الدراسة

- دوارق قياسية بسعة 50 مل ، 100 مل، 200 مل، 250 مل استعملت لتخفيف التركيز.
- مصدر تيار مستمر DC Power Supply نوع EP-613 من إنتاج شركة Mastech.
- ميزان الكتروني رقمي نوع PioneerTM من شركة OHAUS Corporation الأمريكية.
- مسطرة، مناديل ورقية لتجفيف الخلايا، ورق ترشيح، ماصة، أسلاك توصيل، مقص.
- Spectrophotometer DR2800 من شركة Hsch Lange.
- محرك مغناطيسي من نوع RH basic من شركة IKA Labortechnik الألمانية.

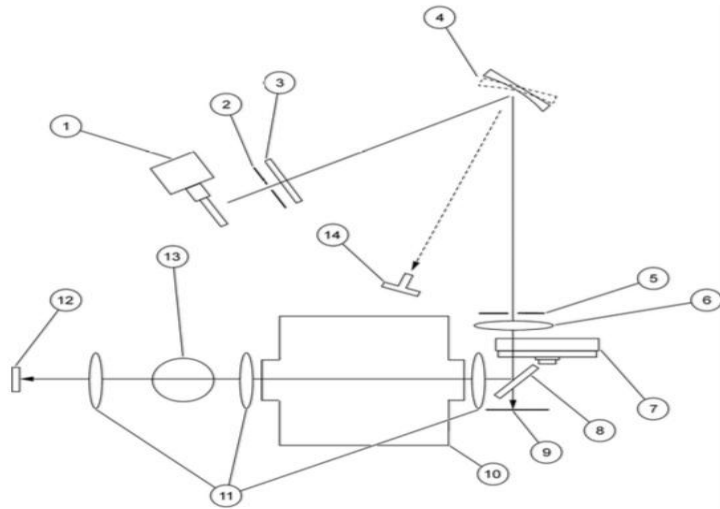
3.4 مكونات جهاز spectrophotometer DR2800

يحتوي جهاز DR2800 على حجرتين للخلايا يمكن استخدام نوع واحد فقط من الخلايا الكوفيت / العينة في كل مرة للقياس.



شكل رقم (3.2) مكونات جهاز spectrophotometer DR2800

- مسار الضوء في الجهاز



الشكل (3.3) مسار الضوء في الجهاز Hach (2013)

- أجزاء جهاز spectrophotometer DR2800:

- | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. مصباح تنجستن | 6. عدسة | 11. عدسة |
| 2. فتحة الدخول | 7. عجلة الفلتر | 12. عنصر القياس |
| 3. زجاج واق من الحرارة | 8. مرآة مقسمة | 13. حجرة الخلية رقم 1 |
| 4. الشبكة | 9. عنصر مرجعي | 14. مصباح LED |
| 5. فتحة الخروج | 10. حجرة الخلية رقم 2 | |

3.5 أنواع الأقطاب المستخدمة ومتغيرات الدراسة

جدول (3.1) يوضح نوع مادة القطب الكهربائي التي تم استخدامها

التجربة	نوع مادة قطب الأنود	نوع مادة قطب الكاثود	تباعد الأقطاب (cm)	الجهد المطبق (V)
1	تيتانيوم DSA	جرافيت (C)	2.8، 2.0، 1.4، 1.0	5.0، 4.5، 3.5
2	جرافيت (C)	جرافيت (C)	2.8، 2.0، 1.4، 1.0	5.0، 4.5، 3.5
3	جرافيت بطارية (C*)	جرافيت (C)	2.8، 2.0، 1.4، 1.0	5.0، 4.5، 3.5

- أنود من التيتانيوم من نوع DSA مطلي بطبقة من (RuO₂/TiO₂)، تم تصميمه بمواصفات وأبعاد خاصة حسب الطلب مقارنة بأبعاد الكاثود الكربوني.

- أنود التيتانيوم بعدد ثلاثة شرائح متوازية في مستوى واحد، بعرض حزمة 2.6 cm وسمك كل شريحة 1 mm وطول 7cm وعرض 0.8 cm.

- أنود جرافيت (C) – كاثود جرافيت (C)، بأبعاد متطابقة 7 cm وعرض 0.6 cm بمساحة سطح 4.2 cm².
- أنود جرافيت بطارية (C*) – كاثود جرافيت (C)، الأول بأبعاد 5.7 cm وعرض 0.6 cm بمساحة سطح 3.42 cm² (المُلحق 2).

- يُلاحظ أنه كان سطح جرافيت البطارية أملس، مما تسبب في قيم منخفضة للكلور الحر فتم تخشين سطح كربون البطارية الاسطواني للرفع من كفاءة المواقع النشطة على السطح (Adeyiga, Hu, & Greer, 1998).

3.6 مميزات وعيوب الأقطاب الكهربائية

أنود التيتانيوم DSA هو قطب أكسيد المعدن المختلط (MMO)، مطلي على ركيزة من التيتانيوم (panizza, 2009). والتي تسمى أيضاً بالأنودات المستقرة الأبعاد (DSA)، وهي أجهزة ذات موصلية عالية ومقاومة للتآكل، تستخدم كأنودات في التحليل الكهربائي ويحفز التفاعل المطلوب مثل إنتاج الكلور الحر من المياه المالحة (Veerman *et al.*, 2010). حيث سجل هنري برنارد بير براءة اختراعه على أنودات التيتانيوم المستقرة الأبعاد عام 1965 (Beer, 1969). يتميز بتكلفته المعقولة واستقراره الكيميائي مقارنة بالكربون الذي يعاني مشاكل في الاستقرار (Nistor *et al.*, 1999).

على الرغم من فعالية الجرافيت، إلا أنه عند استخدامه كأنود كانت له قيود ملحوظة (Beer, 1982). فهو مكلف للغاية، وغير مقاوم بشكل كافٍ للكلور، وعرضة للأكسدة، وكثير الاستهلاك للطاقة، يلوث المنتج بالهيدروكربونات المكثورة (Brinkmann *et al.*, 2014).

كما أنه أدى تآكله إلى زيادة فجوة الأنود – الكاثود بمرور الوقت، مما يؤدي إلى ارتفاع جهد الخلية وزيادة استهلاك الطاقة. هذه القيود دفعتنا إلى استبدالها بأنودات أكثر كفاءة واستقراراً، لأن ضمان التشغيل وتقليل التلوث أمر بالغ الأهمية في العمليات الصناعية (Beer, 1980, 1982).

3.7 الخلية الكهروكيميائية

قبل البدء، تم غسل الأقطاب بماء مقطر وتنظيفها وتجفيفها جيداً، ثم وزنها وتدوين كتلة الأقطاب. تم ملء وعاء زجاجي مغلق بحجم 250 ml من محلول العينة (الماء الراجع)، وتثبيت الأقطاب الكهروكيميائية المستعملة في الخلية الكهروكيميائية بشكل عمودي على مسافة 1cm وجهد 3.5 V.

في المرة الأولى، تم تثبيت الجهد وتغيير المسافات لاحقاً، باستخدام أنود تيتانيوم DSA مغطى بطبقة من الأكاسيد النشطة ($\text{RuO}_2\text{-TiO}_2$)، وكاثود من الجرافيت. بعد ذلك، تم توصيل الدائرة الكهربائية وبدء تتبع عملية التحليل الكهربائي والتزايد في إنتاج الكلور الحر كل (20 min لمدة 100 min)، وتدوين النتائج.

بعد الانتهاء، تم تنظيف الأقطاب ووزنها وتسجيل الفقد في الكتلة.

تم تطبيق نفس الخطوات العملية على كل الأقطاب من مسافات 1.0 cm و 1.4 cm و 2.0 cm و 2.8 cm وجهود 3.5 V و 4.5 V و 5.0 V.

3.8 جمع العينات

تم سحب عينات المحلول الملحي من الخلية الكهروكيميائية المغلقة كل 20 دقيقة من أعلى الوعاء لتفادي فقدان الكلور بالتطاير أو التفاعل مع الهواء مدة فترة التشغيل، ثم إضافة الكاشف DPD وتقرأ خلال دقيقة واحدة حسب طريقة Hach8021 (المُلحق 3).

وتم أخذ الظروف التشغيلية الآتية بعين الاعتبار:

1. توحيد ظروف التجربة

تم تثبيت كلٍّ من الجهد الكهربائي، وزمن التشغيل، والمسافة بين الأقطاب لضمان مقارنة دقة النتائج لكل أنواع الأقطاب المستخدمة.

2. طريقة قياس الكلور الحر

تم التحليل باتباع طريقة Hach 8021 المعتمدة على تفاعل الكلور الحر مع كاشف DPD على شكل مسحوق، وظهور اللون الوردي و قياسه عند طول موجي (530 nm) باستخدام جهاز spectrophotometer DR2800 في معمل الهندسة البيئية بكلية الهندسة –جامعة صبراتة.

الفصل الرابع
النتائج والمناقشة

4.1 تأثير مسافة التباعد بين الأقطاب والجهد المطبق

4.1.1 تأثير مسافة التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 3.5 V

في التجربة الأولى، تم تطبيق جهد 3.5 V وتباعد بين الأقطاب 1.0 cm ، وزمن تشغيل مدته 100 min .

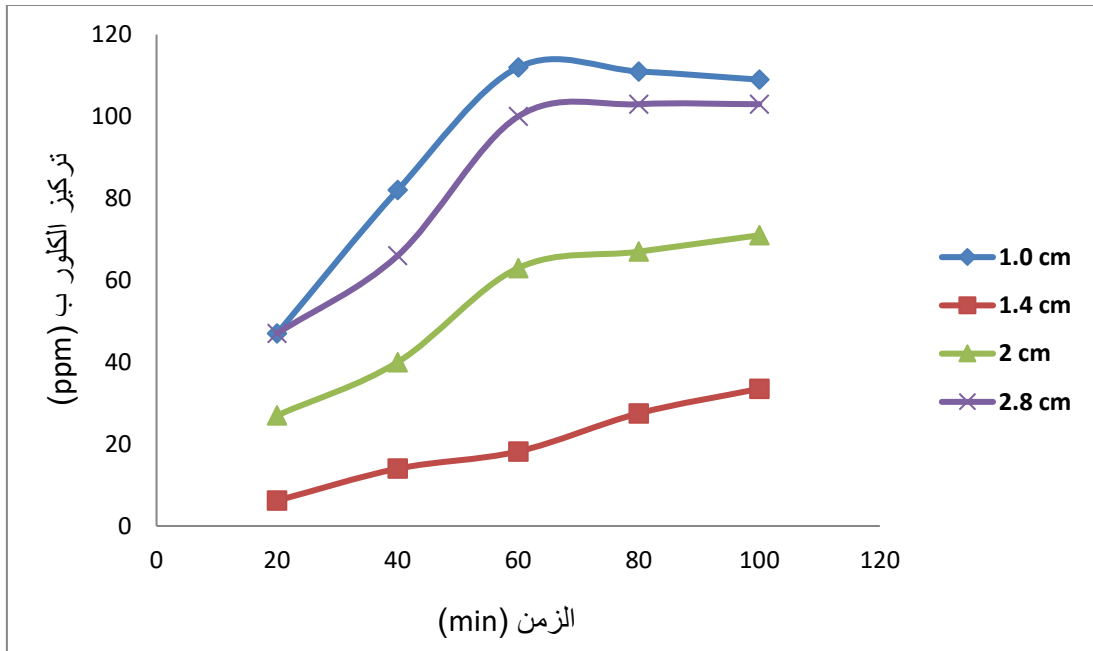
تم قياس تركيز الكلور الحر (Free Chlorine) على الفترات الزمنية المحددة خلال التشغيل، وهي (20 min ، 40 min ، 60 min ، 80 min ، 100 min)، وقد تم ذلك بسحب 10 ml بواسطة ماصة من الإلكتروليت، وإضافة الكاشف DPD، وقراءة النتيجة خلال دقيقة حسب طريقة Hach، وتحصلنا على تركيز مختلفة.

و أجريت أربع تجارب بمسافات تباعد مختلفة: 1.0 cm ، 1.4 cm ، 2.0 cm ، 2.8 cm

جدول (4.1) تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 3.5 V باستخدام أنود DSA :

الزمن / min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20	47	6.2	27	47
40	82	14	40	66
60	112	18.2	63	100
80	111	27.5	67	103
100	109	33.5	71	103

- تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور.



شكل (4.1) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 3.5 V باستخدام أنود DSA.

4.1.2 تفسير النتائج عند الجهد 3.5 V

- الترتيب حسب الكفاءة: 1.0 cm، ثم 2.8 cm، ثم 2.0 cm، ثم 1.4 cm، على التوالي.

يكون أعلى إنتاج للكlor الحر عند أقصر مسافة 1.0 cm بقيمة 112 ppm في الدقيقة 60 min. ويُعزى ذلك إلى قصر المسافة بين الكاثود والأنود، مما يؤدي إلى زيادة شدة المجال الكهربائي ومقاومة منخفضة، وبالتالي تسريع انتقال أيونات (Cl⁻) نحو الأنود، و من ثم أكسدة الكلوريد إلى كلور وتكون هيبوكلوريت الصوديوم. وهذا يتوافق مع ما توصل إليه (Asfar (2005) وكذلك (Asokan & Subramanian, 2009).

تليها في الإنتاج 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 (Cl₂+H₂) التي كانت تسد المواقع النشطة على الأقطاب وتعيق النقل الفعال للأيونات. وهذا يتفق مع ما جاء في (Angulo *et al.*, 2020).

أما المسافتان 1.4 cm و 2.0 cm فقد أظهرتا تراكيزاً منخفضة، ويُعزى ذلك إلى تكون فقاعات غازية كثيفة، تمت رؤيتها بوضوح على سطح الأقطاب، والتي من شأنها أن تُعيق سريان التيار.

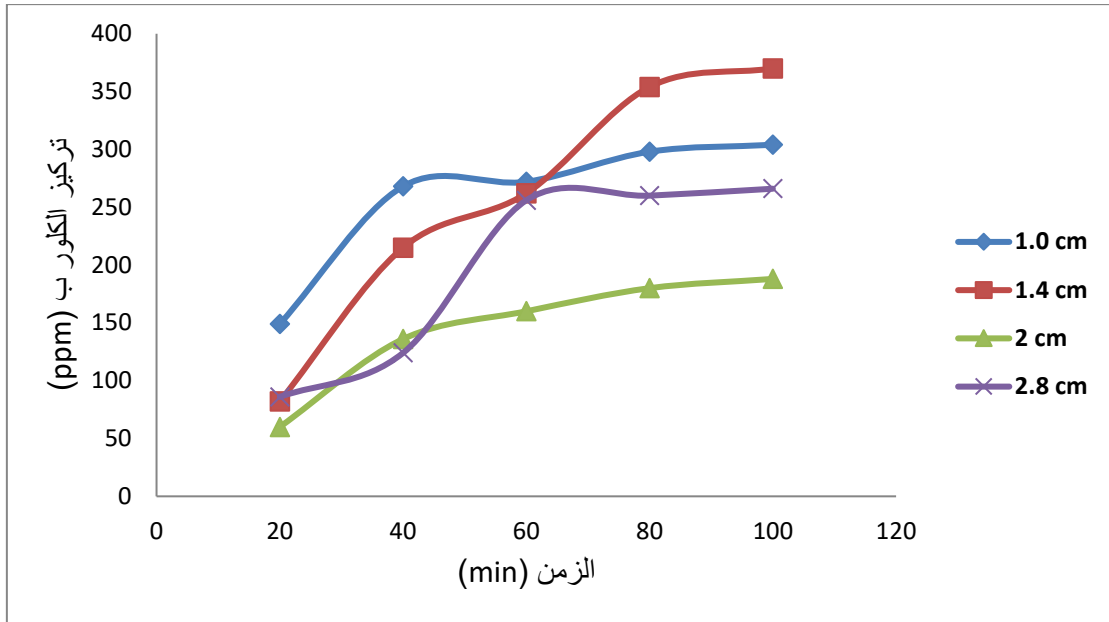
4.1.3 تأثير مسافة التباعد بين أنود التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 4.5 V

بنفس خطوات التجارب السابقة مع رفع الجهد إلى 4.5 V وتحصلنا على النتائج أدناه.

جدول (4.2) تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 4.5 V باستخدام أنود DSA.

الزمن / min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20	149	82	60	86
40	268	215	136	124
60	272	262	160	256
80	298	354	180	260
100	304	370	188	266

- تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد المطبق على إنتاج الكلور.



شكل (4.2) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 4.5 V باستخدام أنود DSA.

4.1.4 تفسير النتائج عند الجهد 4.5

-الترتيب حسب الكفاءة: 1.4 cm، ثم 1.0 cm، ثم 2.8 cm، وأخيراً 2.0 cm، على التوالي.

يكون أعلى إنتاج للكلور الحر عند المسافة المتوسطة 1.4 cm بقيمة 370 ppm عند 100 min. يُشير ذلك إلى تحسّن في الإنتاج عند رفع الجهد إلى من 3.5 V إلى 4.5 V في هذه المسافة، حيث يكون النقل الأيوني جيداً، والمجال الكهربائي قوياً ومناسباً ومستقرًا، فيقل فقد الكلور بالتطاير أو التفاعلات العكسيّة، و يحدث أفضل توازن بين إنتاج الكلور و استقراره في المحلول عند الدقيقة 80 و 100 لذا يظهر أعلى تركيز للكلور الحر عندهما.

تليها في الإنتاج المسافة الأصغر 1.0 cm بقيمة ثابتة 304 ppm عند 100 min. فيكون التيار أعلى والمجال الكهربائي قوياً جداً، وإنتاج الكلور أسرع، وهذا ما يُفسّر ظهور قيمة التركيز عند الدقيقة 60 أعلى من المسافة 1.4 cm. أما عند الدقيقة 80 و 100 انخفض التركيز، يُعزى ذلك إلى التفاعلات الجانبية وفقد الكلور بالتطاير، مثل ما جاء في دراسة (Asfar, 2005).

أما المسافة الأكبر 2.0 cm انخفض فيها إنتاج الكلور، ويُعزى هذا التناسب العكسي بين زيادة المسافة وانخفاض التركيز إلى زيادة مقاومة التيار الكهربائي في المحلول الملحي، بالتالي يقل التيار المار بين القطبين و يقل معدل الأكسدة على الأنود وهذا يتوافق مع دراسة (Nagai, Takeuchi, Kimura, & Oka, 2003).

بالنسبة للمسافة 2.8 cm لوحظ أنّ تركيز الكلور الحر كان منخفضاً في الأزمنة الأولى، ذلك لأن المسافة كبيرة نسبياً بين الكاثود والأنود، و المجال الكهربائي ضعيف مقارنة بالمسافات الأقل. ومعدل أكسدة أيونات الكلوريد بطيء في البداية، ولكن مع مرور الزمن واستمرار عملية التحليل الكهربائي تراكم الكلور تدريجياً في المحلول. لذلك حدث ارتفاع في التركيز عند الدقيقة 60 كما ورد في (Bard and Faulkner, 2001). وبعد فترة تشغيل وصل النظام

إلى حالة شبه مستقرة حيث يتوازن معدل تكوين الكلور مع معدل فقدته عند الدقيقة 80 و، 100 كما أوضح Newman and Thomas-Alyea (2012).

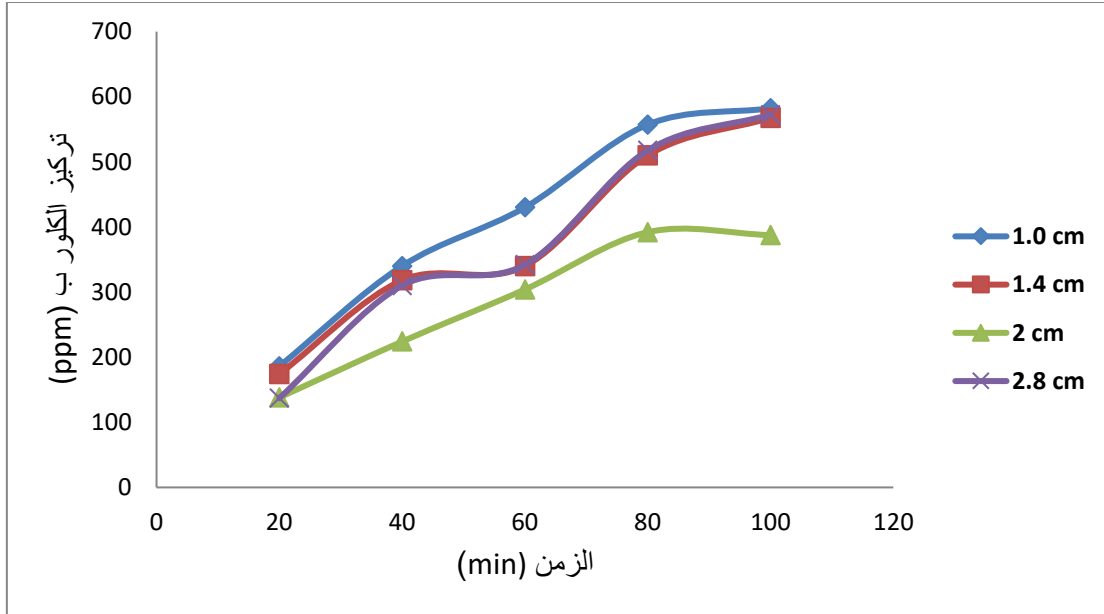
4.1.5 تأثير مسافة التباعد بين قطب التيتانيوم DSA والجرافيت عند جهد 5.0 V

بنفس خطوات التجارب السابقة تم رفع الجهد إلى 5.0 V تحصلنا على النتائج أدناه.

جدول (4.3) تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 5.0 V باستخدام أنود DSA.

الزمن/min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20	186	174	138	137
40	340	318	224	310
60	430	340	304	342
80	557.5	510	392	517.5
100	582.2	567.5	387.5	572.5

تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور



شكل (4.3) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 5.0 V باستخدام أنود DSA.

4.1.6 تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V

-الترتيب حسب الكفاءة: 1.0 cm، ثم 2.8 cm، ثم 1.4 cm، ثم 2.0 cm، على التوالي.

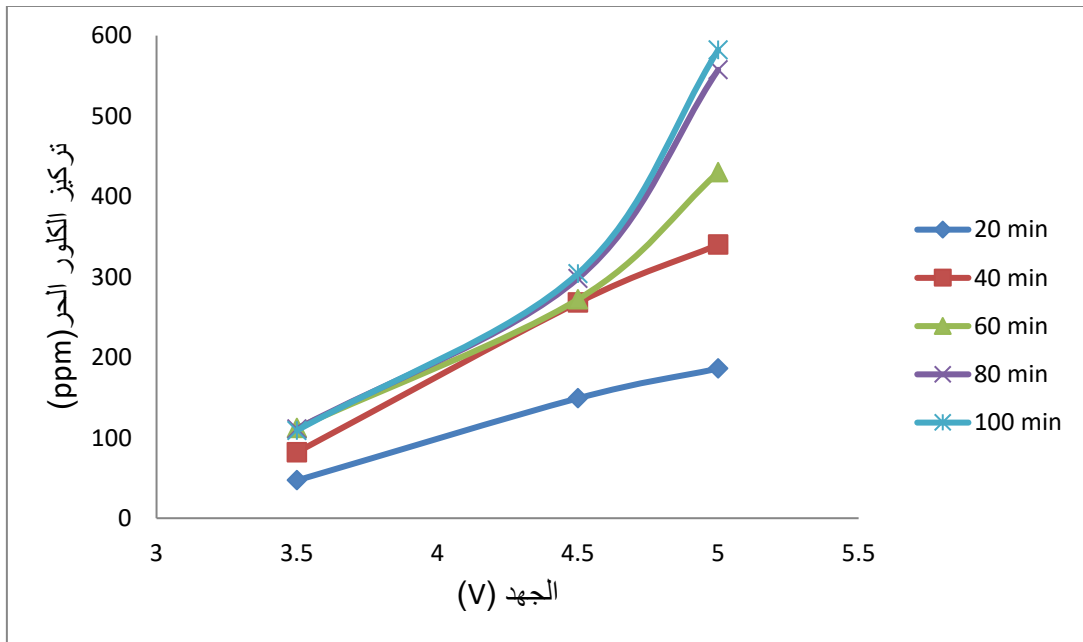
بلغ أقصى إنتاج عند أقصر مسافة 1.0 cm بقيمة 585.5 ppm عند 100 min. وهذا يؤكد أن قطب التيتانيوم DSA يمثل أعلى استقرار وأكبر إنتاجية عند الجهود العالية والمسافات القصيرة، مما يتطابق مع دراسة Saleem (2012).

تليها المسافة 2.8 cm بتركيز 572.5 ppm. ثم المسافة 1.4 cm بتركيز 567.5 ppm. ويُعزى تقارب هذه التراكيز إلى الجهد العالي المُطبَّق، الذي يرفع من كفاءة العملية بزيادة كثافة التيار ويقلل المقاومة وتسريع تفاعلات الأكسدة على الأنود، كما أثبتت دراسة (Hsu, Lu, & Hsu, 2017).

أمَّا عند مسافة 2.0 cm، فعلى الرغم من زيادة التركيز مع الزمن، إلا أن القيم كانت منخفضة مقارنة بالمسافات الأخرى، ويُعزى ذلك إلى تكوّن فقاعات غازية على الأسطح وعدم انفصالها بسهولة كما يحدث في المسافات الأكبر، مما يؤدي إلى تراكمها وتقليل مساحة السطح الفعالة.

4.1.7 تأثير الجهد الكهربائي المُطبَّق على إنتاج الكلور الحر لقطب التيتانيوم- قطب الجرافيت

وفي الشكل (4.4)، تم رسم العلاقة بين تركيز الكلور الحر مُقابل الجهود المُطبَّقة (3.5 V، 4.5 V، 5.0 V) عند الأزمنة (20 min، 40 min، 60 min، 80 min، 100 min). وقد تم اختيار المسافة 1 cm لقطب التيتانيوم DSA باعتبارها المسافة المثلى التي أعطت أعلى إنتاج للهيبوكلوريت عند 0.5 V. يُلاحظ من الشكل أن زيادة الجهد الكهربائي تؤدي إلى ارتفاع إنتاج الكلور الحر مع الزمن، مما يؤكد حساسية العملية الكهروكيميائية للتغير في الجهد المُطبَّق.



شكل (4.4) العلاقة بين تركيز الكلور الحر والجهد عند أزمنة مختلفة لأنود التيتانيوم- الجرافيت.

• تصنيف تركيز الكلور الحر تبعاً لقيم الجهد

جدول (4.4) التراكيز المُثلى لكل جهد

الجهد (V)	تركيز الكلور الحر (ppm)
3.5	منخفض (6.2 – 112)
4.5	متوسط (60-370)
5.0	عالٍ (137-582.2)

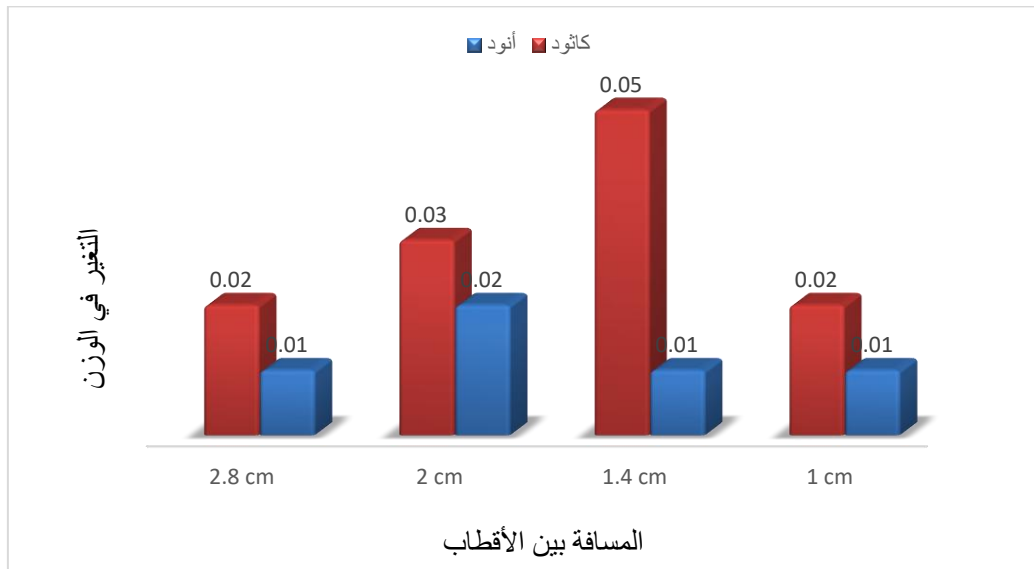
4.2 تقييم استقرار قطب DSA والجرافيت من خلال التغير في الكتلة

يُراعى في العملية الكهروكيميائية استهلاك مادة القطب؛ حيث جرى قياس معدلات استهلاك مواد الأقطاب باستخدام فرق الوزن قبل وبعد زمن التفاعل.

4.2.1 التغير الوزني للأقطاب عند 3.5 V

جدول (4.5) التغير في كتلة الأقطاب عند جهد 3.5 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	DSA/ C
9.33	13.60	9.33	13.60	9.26	13.57	9.32	13.59	قبل التحليل
9.35	13.61	9.36	13.58	9.31	13.58	9.34	13.60	بعد التحليل
0.02	0.01	0.03	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	الفرق في الكتلة

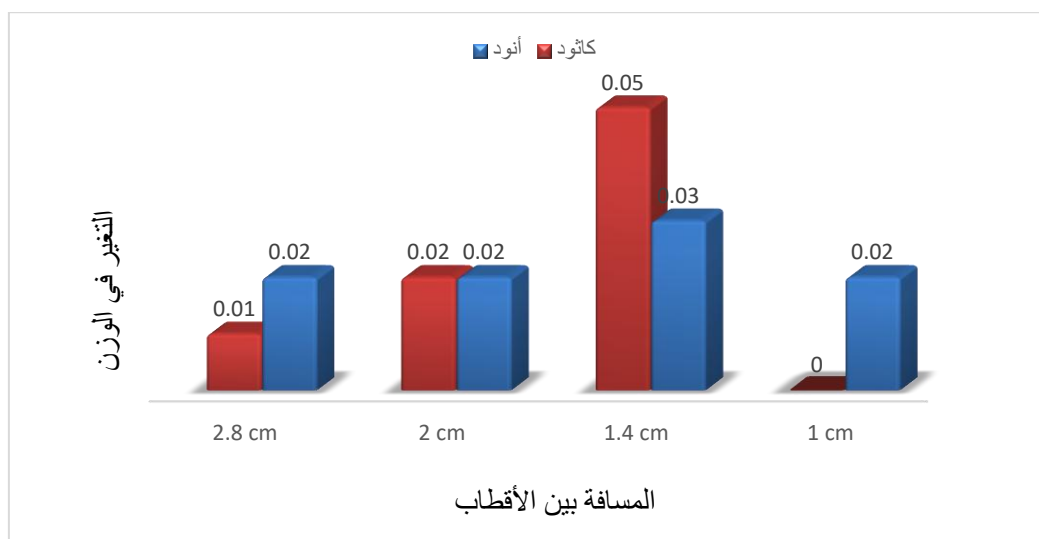


شكل (4.5) التغير الوزني لأنود DSA وقطب الجرافيت (C) عند 3.5 V

4.2.2 لتغير الوزني للأقطاب عند 4.5 V

جدول (4.6) التغيير في كتلة الأقطاب عند جهد 4.5 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	DSA/ C
9.32	13.58	9.35	13.58	9.28	13.60	9.34	13.60	قبل التحليل
9.33	13.60	9.33	13.60	9.33	13.57	9.34	13.58	بعد التحليل
0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.00	0.02	الفرق في الكتلة

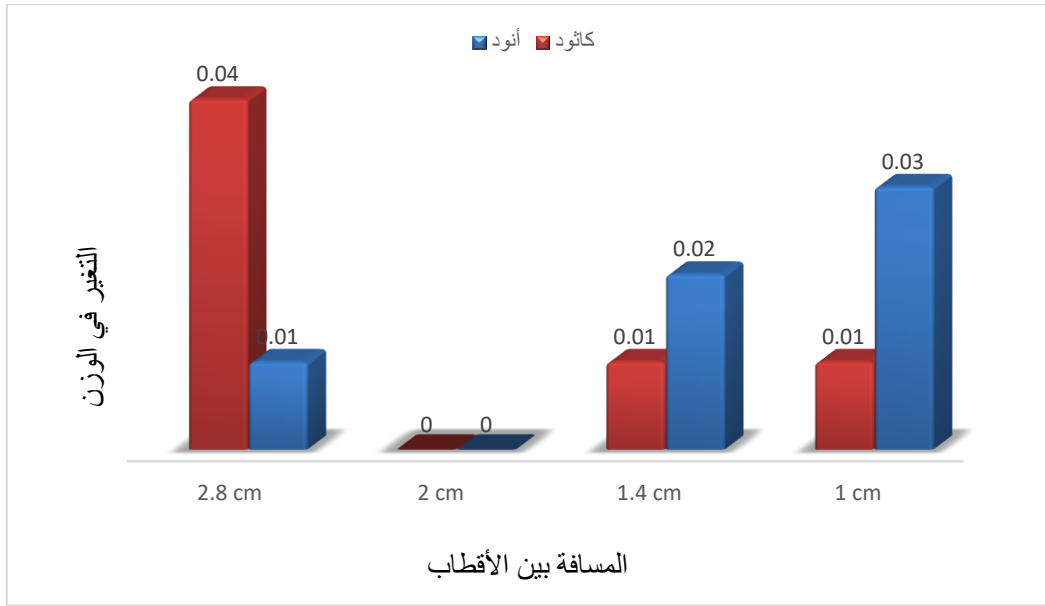


شكل (4.6) التغيير الوزني لأنود DSA وقطب الجرافيت (C) عند 4.5 فولت

4.2.3 التغيير الوزني للأقطاب عند 5.0 V

جدول (4.7) التغيير في كتلة الأقطاب عند جهد 5.0 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	DSA/ C
9.28	13.57	9.30	13.58	9.33	13.57	9.35	13.61	قبل التحليل
9.32	13.58	9.35	13.58	9.32	13.59	9.36	13.58	بعد التحليل
0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	الفرق في الكتلة



شكل (4.7) التغير الوزني لأنود DSA وقطب الجرافيت (C) عند 5.0 V

4.2.4 الاستنتاج

تُظهر البيانات وتؤكد أنّ معدل الفقد في كتلة أنود التيتانيوم خلال الجهود المطبقة قليلٌ جدًا، ممّا يدل على أن أقطاب ال DSA تتمتع بثبات كيميائي عالٍ أثناء فترة التحليل الكهروكيميائي، وذلك بما يتوافق مع ما ورد في Saleem (2012).

4.3 تأثير التباعد بين قطبي الجرافيت عند جهد 3.5 V

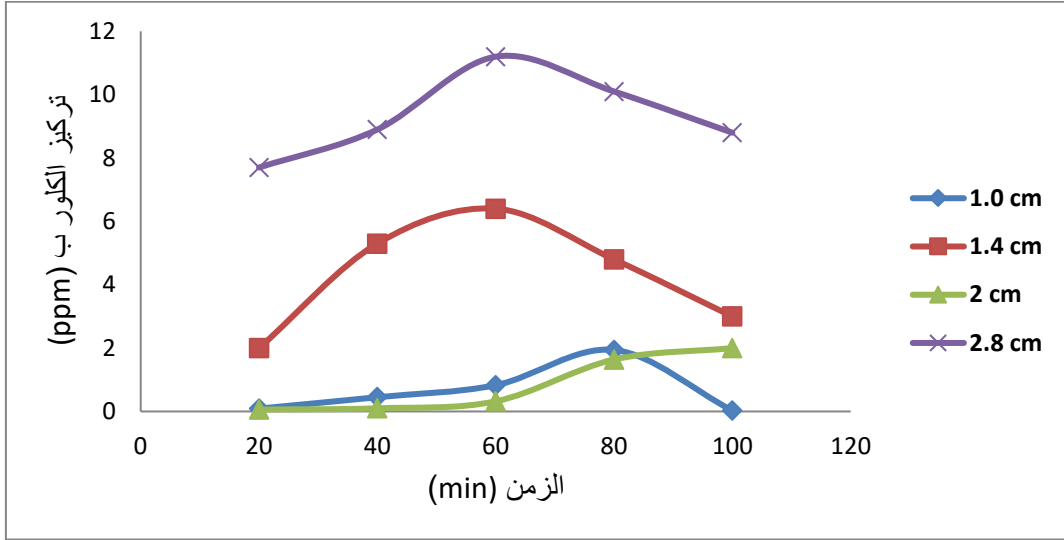
باتباع نفس الخطوات المستخدمة مع قطب التيتانيوم DSA، تم تطبيق جهد 3.5 V وزمن تشغيل مدته 100 min (20 min، 40 min، 60 min، 80 min، 100 min)، ومسافة بين الأقطاب 1.0 cm.

تم قياس تركيز الكلور الحر (Free Chlorine) بوحدة (ppm) على الفترات الزمنية المحددة خلال التشغيل، وذلك بسحب 10 ml بواسطة ماصة من الإلكتروليت، ثم إضافة كاشف DPD و قراءة النتيجة خلال دقيقة واحدة حسب طريقة Hach، وتحصلنا تراكييز.

جدول (4.8) تراكييز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الزمن / min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20	0.09	2	0.06	7.7
40	0.45	5.3	0.1	8.9
60	0.83	6.4	0.32	11.2
80	1.94	4.8	1.64	10.1
100	0.03	3	2	8.8

تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور.



شكل (4.8) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 3.5 V باستخدام قُطبي جرافيت.

4.3.1 تفسير النتائج عند الجهد 3.5 V

من الشكل (4.8) نلاحظ انخفاض تركيز الكلور الحر عند جميع المسافات، وكانت أعلى قيمة مُسجلة عند مسافة 2.8 cm بمقدار 11.2 ppm، وهي قيمة منخفضة للإنتاج. ويُعزى هذا الانخفاض في التركيز إلى عدّة عوامل، من أهمها:

- طبيعة القطب الجرافيتي كونه خاملاً وغير نشط كيميائياً.
 - الجهد المنخفض المُطبّق خلال التجربة.
- تكوّن طبقة رقيقة من الأكاسيد أو الكربونات على سطح الأنود بمرور الزمن، وقد تمت ملاحظتها أثناء التجربة

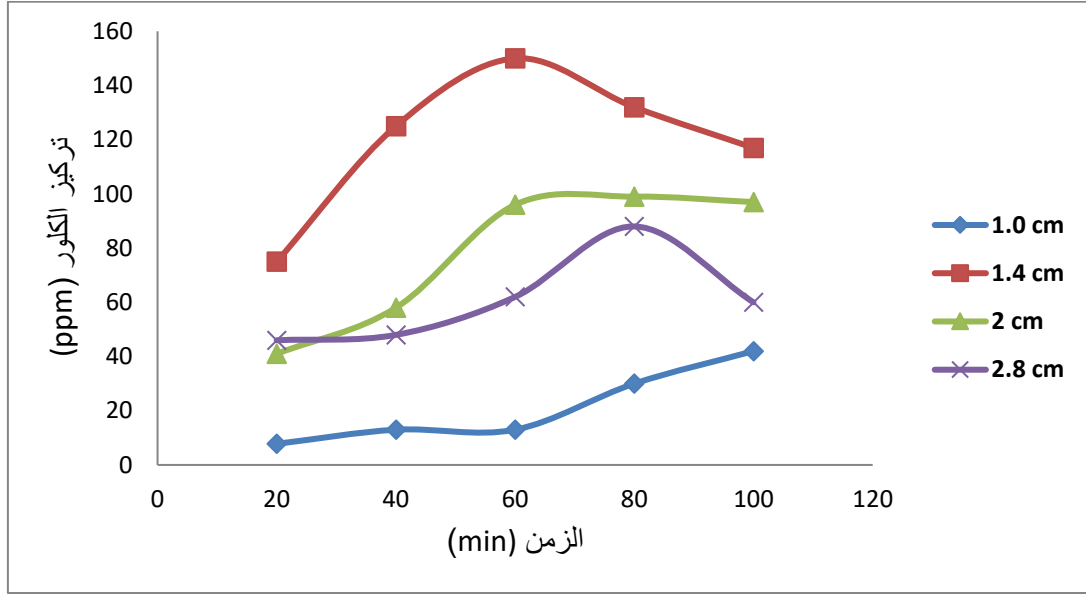
4.3.2 تأثير التباعد بين قُطبي الجرافيت عند جهد 4.5 V

أُجريت التجربة بنفس خطوات التجارب السابقة، ومع رفع الجهد إلى 4.5 V تحصلنا على النتائج الموضّحة أدناه.

جدول (4.9) تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 4.5 V باستخدام قُطبي جرافيت

الزمن / min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20 min	7.8	75	41	46
40 min	13	125	58	48
60 min	13	150	96	62
80 min	30	132	99	88
100 min	42	117	97	60

تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور



شكل (4.9) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت

من الشكل (4.9) يتضح لنا عند رفع الجهد من 3.5 V إلى 4.5 V تحصلنا على تركيزات عالية للكلور الحر بسبب ارتفاع معدل الأكسدة لأيونات الكلوريد وتحسن كفاءة التيار.

4.3.3 تفسير النتائج عند الجهد 4.5 V

-الترتيب حسب الكفاءة: 1.4 cm، ثم 2.0 cm، ثم 2.8 cm، وأخيراً 1.0 cm.

يكون أعلى إنتاج للكلور الحر عند المسافة المتوسطة 1.4 cm بقيمة 150 ppm عند 60 min. ويشير ذلك إلى تحسن واضح في الإنتاج عند رفع الجهد إلى من 3.5 V إلى 4.5 V في هذه المسافة المثالية، حيث تقل المقاومة، ويكون النقل الأيوني جيداً، والتيار مناسباً ومستقرًا، وبالتالي عدم حدوث تفاعلات عكسية أو فقد في نواتج التفاعل، مما أدى إلى أعلى معدل توليد للكلور في جميع الأزمنة مقارنةً ببقية المسافات.

تليها في الإنتاج المسافة 2.0 cm بقيمة 99 ppm عند 80 min. وهذا تركيز متوسط وتحسن واضح مع الزمن، في بداية التشغيل ارتفعت حرارة المحلول، ومع زيادة المسافة بين الكاثود والأنود تزداد المقاومة الكهربائية، و تنخفض كثافة التيار وبالتالي إنتاج جيد للكلور.

ثم تأتي المسافة 2.8 cm بقيمة 88 ppm عند الدقيقة 80 min، هذا التباعد الأكبر يؤدي لمقاومة أعلى، مما يقلل التيار المار ويؤثر على معدل الأكسدة أي ضعف انتقال الأيونات، وبالتالي تُظهر تراكيز أقل من السابق.

أما المسافة الأقصر 1.0 cm فقد بلغ أعلى إنتاج لها 42 ppm عند 100 min، وهذه قيمة منخفضة مقارنة بالمسافات الأخرى، ويُعزى ذلك لحدوث التفاعلات العكسية (اختزال الكلور)، وللقرب الشديد بين القطبين، حيث

تتولد فقاعات غازية من (H_2, Cl_2) تحتجز في الحيز الضيق بينهما، مما يُعيق عملية الإنتاج رُغم الجهد المُرتفع، و تتوافق هذه التفسيرات مع ما ورد في دراسة (Alagha,2010).

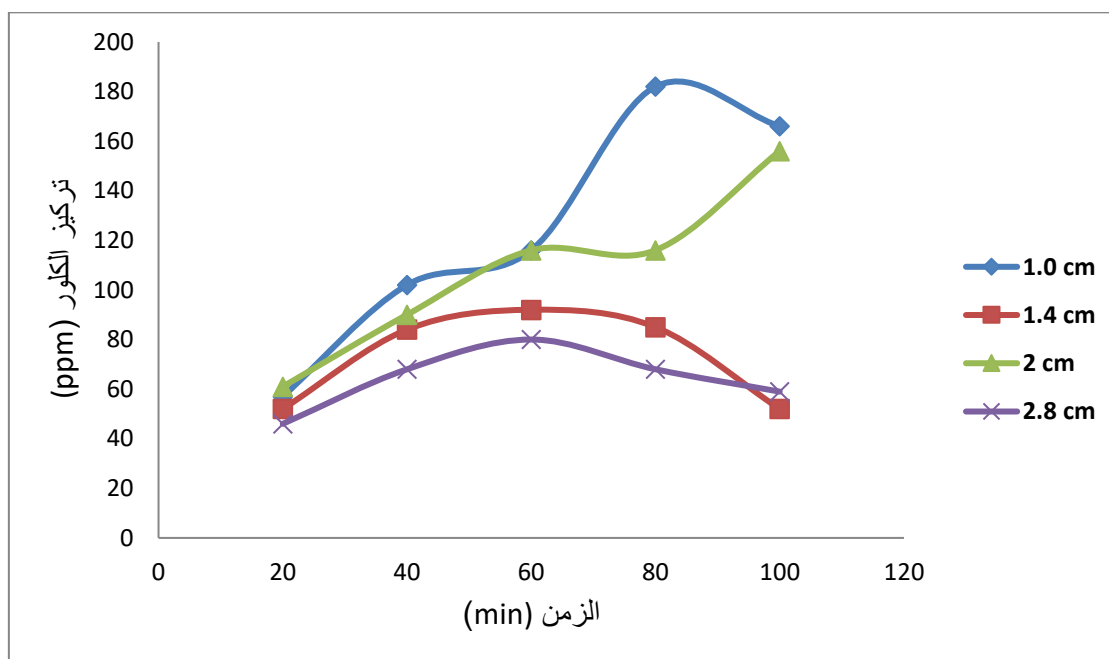
4.3.4 تأثير التباعد بين قطبي الجرافيت عند جهد 5.0 V

أُجريت التجربة بنفس خطوات التجارب السابقة، ومع رفع الجهد إلى 5.0 V حصلنا على النتائج الموضحة أدناه.

جدول رقم (4.10) تراكيز الكلور الحر التي تم الحصول عليها عند 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

الزمن/min	تركيز الكلور (ppm) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 1.4 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.0 cm	تركيز الكلور (ppm) عند 2.8 cm
20 min	57	52	61	46
40 min	102	84	90	68
60 min	116	92	116	80
80 min	182	85	116	68
100 min	166	52	156	59

تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور



شكل (4.10) العلاقة بين تركيز الكلور الحر وزمن التشغيل عند 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

بشكل عام، تُظهر النتائج في الشكل (4.10) زيادة ملحوظة في تركيز الكلور الحر عند رفع الجهد إلى 5.0 V مقارنةً بالجهود الأدنى، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع كثافة التيار ومن ثم ارتفاع معدل أكسدة (Cl^-).

4.3.5 تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V

-الترتيب حسب الكفاءة: 1 cm، ثم 2 cm، ثم 1.4 cm، ثم 2.8 cm، على التوالي.

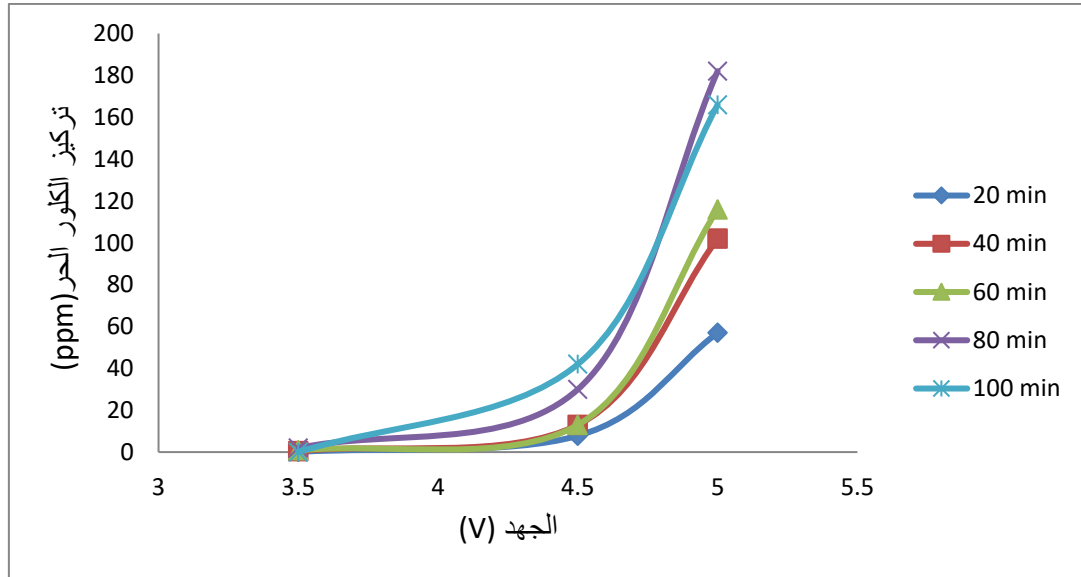
أظهرت المسافة الأقصر 1.0 cm قفزة كبيرة في الإنتاج عند 80 min بقيمة 182 ppm، ويُعزى ذلك إلى التيار العالي والمقاومة المنخفضة، و هو ما يتوافق مع ما ورد في (Alagha,2010). أما الهبوط في التركيز عند 100 min، فيُعزى إلى تآكل سطح الجرافيت مع مرور الزمن نتيجة للتيار المرتفع.

تليها في الإنتاج المسافة 2.0 cm بارتفاع تدريجي في التركيز، وقد سُجّلت أعلى قيمة عند 100 min بتركيز 156 ppm. ويُمكن تفسير ذلك بوجود توازن جيد بين المقاومة والفقااعات الغازية على سطح قطب الجرافيت.

أما المسافة 1.4 cm فقد حققت أعلى تركيز لها عند الدقيقة 60 min بقيمة تركيز 92 ppm. ثم حدث هبوط في الإنتاج عند 80 min و 100 min، ويُعزى ذلك إلى التآكل الجزئي في سطح قطب الجرافيت ولتراكم الرواسب والفقااعات الغازية.

في حين أنّ المسافة الأكبر 2.8 cm أعطت أقل تركيزات مقارنة بالمسافة الأخرى، وكانت أعلى قيمة لها عند 60 min بتركيز 80 ppm. ويُعزى ذلك إلى زيادة طول المسافة، مما يرفع المقاومة ويقلل التيار المار، وبالتالي ينخفض معدل أكسدة (Cl⁻). وتتطابق هذه التفسيرات مع ما ورد في (Afify et al.(2023).

4.3.6 تأثير الجهد الكهربائي المُطبّق على إنتاج الكلور الحر لقطبي الجرافيت



شكل (4.11) العلاقة بين تركيز الكلور الحر والجهد عند أزمنة مختلفة لقطبي الجرافيت.

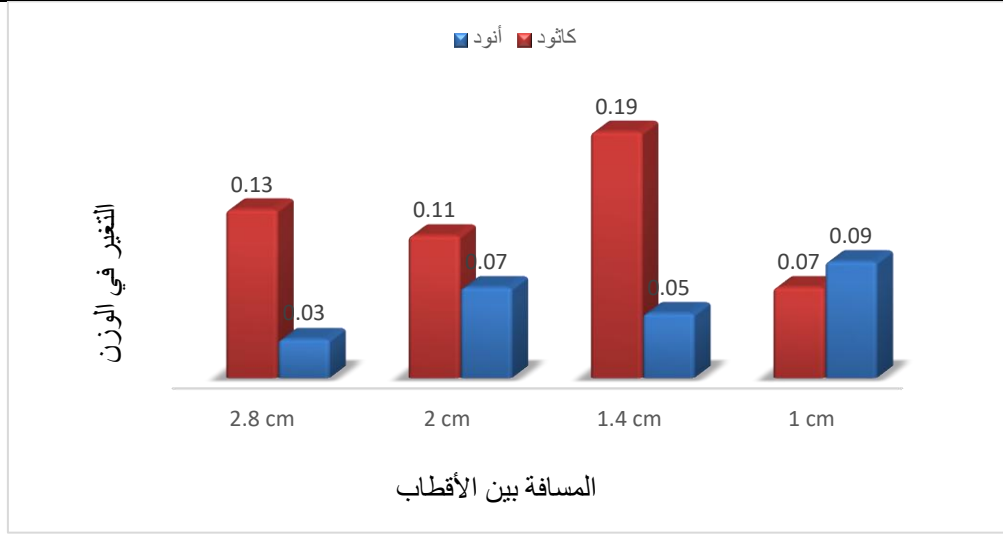
يوضح الشكل (4.11) أنّ تركيز الكلور الحر يزداد بزيادة الجهد الكهربائي المُطبّق عند جميع أزمنة التشغيل، حيث يكون الإنتاج ضعيفاً عند الجهود المنخفضة ويزداد تدريجياً مع الجهود العالية نتيجة لزيادة شدة التيار و معدل أكسدة أيونات الكلوريد.

4.4 تقييم استقرار قُطبي الجرافيت من خلال التغير في الكتلة

4.4.1 التغير الوزني للأقطاب عند الجهد 3.5 V

جدول (4.11) التغير في كتلة قُطبي الجرافيت عند جهد 3.5 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	C/ C
8.97	8.22	8.26	7.01	8.39	8.37	9.01	6.64	قبل التحليل
9.10	8.19	8.37	6.94	8.58	8.42	9.08	6.73	بعد التحليل
0.13	0.03	0.11	0.07	0.19	0.05	0.07	0.09	الفرق في الكتلة



شكل (4.12) التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 3.5 V

4.4.2 التغير الوزني للأقطاب عند الجهد 4.5 V

جدول (4.12) التغير في كتلة قُطبي الجرافيت عند جهد 4.5 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	C/ C
8.19	8.49	8.17	7.36	8.58	8.42	9.08	6.73	قبل التحليل
8.29	8.54	8.31	7.61	8.63	8.31	9.13	6.64	بعد التحليل
0.1	0.05	0.14	0.25	0.05	0.11	0.05	0.09	الفرق في الكتلة



شكل (4.13) التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 4.5 V

4.4.3 التغير الوزني للأقطاب عند الجهد 5.0 V

جدول (4.13) التغير في كتلة قطبي الجرافيت عند جهد 5.0 V

مسافة 2.8 cm		مسافة 2 cm		مسافة 1.4 cm		مسافة 1 cm		نوع القطب
وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	وزن الكاثود بالجرام	وزن الأنود بالجرام	C/ C
9.05	8.19	8.23	7.56	8.46	9.13	8.17	7.34	قبل التحليل
9.06	8.02	8.34	7.43	8.62	9.10	8.35	7.12	بعد التحليل
0.01	0.17	0.11	0.13	0.16	0.03	0.18	0.22	الفرق في الكتلة



شكل (4.14) التغير الوزني لقطبي الجرافيت عند 5.0 V

4.7.4 التفسير

يُلاحظ من خلال الأشكال (4.12) و(4.13) و(4.14)، ظهور معدل واضح لتراكم المواد على قطب الكاثود، ويُعزى ذلك إلى ترسب هيدروكسيد الفلوي على سطح الكاثود، كما ورد في الدراسات السابقة (Thangappan and Sampathkumaran, 2008; Rabah *et al.*, 1991).

أما معدل الفقد الكبير في كتلة الأنود فيُعزى إلى ارتفاع معدل الأكسدة وقصر المسافة بين الأقطاب، مما يؤدي إلى تآكل أسرع للأنود. ومن ثم، فإن اختيار مادة قطب كهربائي مستقرة كيميائياً في عملية التحليل الكهروكيميائي للمحلول الملحي يعد عاملاً أساسياً لتحقيق أفضل النتائج في ظروف الملوحة العالية.

4.5 تأثير مساحة السطح على إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم باستخدام قطبي جرافيت عند مسافة 1.0 cm وجهد مطبق 5.0 V .

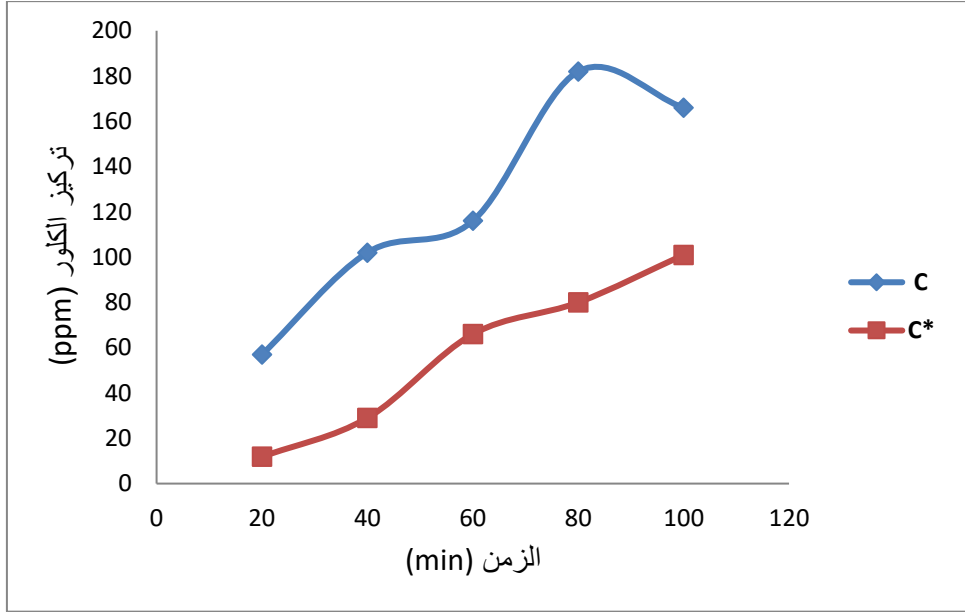
4.5.1 مقارنة بين كفاءة إنتاج قطب جرافيت البطارية (C*) وقطب الجرافيت (C).

تم اجراء التجربة عند جهد 5.0 V ومسافة 1.0 cm باستخدام قطب الجرافيت (C) ككاثود بأبعاد 7 cm وعرض 0.6 cm، وقطب الجرافيت من نوع بطارية (C*) كأنود بأبعاد 5.7 cm وعرض 0.6 cm، أي مساحة سطح أصغر.

جدول (4.14) مقارنة بين تراكيز الكلور الحر والزمن عند اختلاف مساحة سطح الأقطاب

الزمن / min	تركيز الكلور (ppm) باستخدام (C*) عند 1.0 cm	تركيز الكلور (ppm) باستخدام (C) عند 1.0 cm
20	11.83	57
40	29	102
60	66	116
80	80	182
100	101	166

-تم تمثيل النتائج بيانياً لتوضيح أثر التباعد والجهد على إنتاج الكلور



شكل (4.15) العلاقة بين تركيز الكلور الحر والزمن عند اختلاف مساحة سطح الأقطاب

4.5.2 تفسير النتائج عند الجهد 5.0 V ومسافة 1.0 cm

يُظهر الشكل (4.15) زيادة تدريجية في إنتاج الكلور الحر مع مرور الزمن لكلا القطبين. ويتفوق قطب الجرافيت (C)، ذو مساحة السطح الأكبر، في الإنتاج؛ حيث بلغ أعلى تركيز له 182 ppm عند 80 min. أما قطب الجرافيت (C*)، فقد بلغ أعلى إنتاج له 101 ppm عند 100 min. وتؤكد هذه النتائج أنه كلما ازدادت مساحة السطح الفعالة للقطب زادت قدرة القطب على إنتاج الكلور الحر، وهو ما يتوافق مع ما ورد في دراسة (Saleem (2012).

الفصل الخامس

الاستنتاج والتوصيات

5.1 الاستنتاج

أظهر قطب التيتانيوم DSA كفاءته العالية في الإنتاج عند الجهد 5.0 V و المسافة 1cm، بتركيز بلغ 582.2 ppm. وحتى عند الجهود الأقل، واصل قطب التيتانيوم تسجيل إنتاجية مرتفعة بفارق كبير مقارنة بالأقطاب الأخرى، في حين تراوحت معدلات الفقد في الكتلة بين (0.05 g - 0.00 g)، مما يؤكد تمتع هذه الأقطاب بثبات كيميائي عالٍ يجعلها الخيار الأمثل للعملية الكهروكيميائية.

أما أقطاب الجرافيت فقد حققت أعلى إنتاج لها عند قيمة 182 ppm بالجهد 5.0 V والمسافة 1.0 cm، إلا لأن معدل الفقد في كتلتها كان كبيراً نسبياً وبلغ نحو 0.25 g، ما انعكس سلبيًا على كفاءتها الإنتاجية. ويُستنتج من ذلك أنّ قطب التيتانيوم يتفوق بوضوح من حيث الاستقرار، والإنتاجية العالية، ومقاومة التآكل، مقارنة بأقطاب الجرافيت التي تظهر مستويات أعلى من التآكل عند الجهود المرتفعة، مما يجعل استخدامها أكثر مناسبة عند الجهود المتوسطة مع إنتاجية أقل بكثير.

وقد تم أيضاً دراسة أثر زيادة مساحة السطح لأقطاب الجرافيت عند نفس الظروف التشغيلية (5.0 V و 1 cm)؛ إذ حققت أقطاب الجرافيت ذات مساحة السطح الأكبر تركيزاً بلغ 182 ppm عند 80 min، بينما حقق قطب الجرافيت ذو مساحة السطح الأصغر أعلى تركيز له بقيمة 101 ppm عند 100 min. وبالتالي، يتضح أنّ زيادة مساحة السطح الفعالة تحسن بشكل ملحوظ من كفاءة العملية الإنتاجية.

5.2 خواص هيبوكلوريت الصوديوم المُتكون من التحليل الكهربائي

محلول مائي لونه أصفر يميل للاخضرار، ذائب في الماء، مصحوب برائحة مميزة، وتم تأكيد وجود الكلور الحر وقياس تركيزه حسب طريقة Hach.

5.3 التوصيات

- 1- يوصى بتسليط الضوء على هذه المشكلة البيئية ومحاولة الحد من أثرها، خصوصاً أنّ ليبيا تمتلك حوالي 21 محطة تحلية على الساحل الليبي، وجميعها تنتج محلولاً ملحيًا يُصرّف مباشرة في البحر دون معالجة.
- 2- 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.
- 3- مواصلة العمل والبحث في هذا المجال نظرًا لأهميته الكبيرة، مع دراسة أنواع أخرى من الأقطاب مثل البلاطين والسيلستين، ومقارنتها بأقطاب التيتانيوم (DSA (RuO₂/TiO₂).
- 4- يُفضّل زيادة مساحة سطح الأقطاب لضمان توزيع الفقاعات الغازية وعدم تراكمها على مساحة محدودة، مما يحسّن من كفاءة العملية.
- 5- دراسة تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني (pH) في رفع كفاءة العملية الإنتاجية، خاصة عند استخدام أقطاب الجرافيت.
- 6- يُستحسن تحليل متغيرات أخرى مثل كثافة التيار بدلاً من الاعتماد على الجهد فقط، وذلك للحصول على تقييم أكثر دقة للعملية الكهروكيميائية.
- 7- نظرًا لأهمية الجانب الاقتصادي في العمليات الصناعية، يُوصى بتقييم كمية الطاقة التشغيلية المستهلكة أثناء إنتاج هيبوكلوريت الصوديوم، بهدف تحديد التكلفة ودراسة الجدوى الاقتصادية.
- 8- يعد الهيدروجين ناتجًا ثانويًا مهمًا من التفاعل الكهروكيميائي؛ لذا يوصى بدراسة إمكانية جمعة والاستفادة منه في تطبيقات أو دراسات أخرى.
- 9- يوصى بإجراء دراسات حول إمكانية الاستفادة من الأملاح والمعادن المضافة في المعالجة التمهيدية مثل Cl⁻, SO⁻², Na⁺ و Ca⁺² و Mg⁺² و K⁺ و Fe⁺² و Cu⁺²، وذلك بإنتاج مواد كيميائية ذات قيمة تجارية بطرق كهروكيميائية أو ترسيبيه مثل الصودا الكاوية و كربونات الكالسيوم وغيرها .

المراجع

1. Abdulsalam, A., Idris, A., Mohamed, T. A., & Ahsan, A. (2017). An integrated technique using solar and evaporation ponds for effective brine disposal management. *International Journal of Sustainable Energy*, 36(9), 914–925.
2. Adeyiga, A. A., Hu, L., & Greer, T. (1998, April). Removal of metal ions from wastewater with natural wastes. Sixth Annual Historically Black Colleges and Universities and Other Minority Institutions Symposium (pp. 1–2) Ocean City, Maryland, United States.
3. Afsar, M. (2005). Design of a cell to produce sodium hypochlorite from sea water/RO rejected water (Unpublished master's thesis, pp. 115–120). Karachi Institute of Power Engineering, Karachi, Pakistan.
4. Afify, A. A., Hassan, G. K., Al-Hazmi, H. E., Kamal, R. M., Mohamed, R. M., Drewnowski, J., ... & El-Gawad, H. A. (2023). Electrochemical production of sodium hypochlorite from salty wastewater using a flow-by porous graphite electrode. *Energies*, 16(12), 4754.
5. Ahmed, M., Shayya, W. H., Hoey, D., Mahendran, A., Morris, R., & Al-Handaly, J. (2000). Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. *Desalination*, 130(2), 155–168.
6. Alagha, A., & Rahman, M. A. (2010). Hypochlorite generation on some modified electrodes for treatment of wastewater pollutants (Doctoral dissertation, Al Azhar University Gaza).
7. Al-Yaqubi, A., Aliewi, A., & Mimi, Z. (2007). Bridging the domestic water demand gap in Gaza Strip-Palestine. *Water International*, 32(2), 219–229.
8. Angulo, A., van der Linde, P., Gardeniers, H., Modestino, M., & Rivas, D. F. (2020). Influence of bubbles on the energy conversion efficiency of electrochemical reactors. *Joule*, 4(3), 555–579.
9. Arafat, H. (Ed.). (2017). *Desalination sustainability: A technical, socioeconomic, and environmental approach*. (pp. 45–50). Elsevier.
10. Ashour, M. M., & Ghurbal, S. M. (2004). Economics of seawater desalination in Libya. *Desalination*, 165, 215–218.
11. Asokan, K., & Subramanian, K. (2009). Design of a tank electrolyser for in-situ generation of NaClO. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science* (Vol. 1, pp. 139–142). San Francisco, USA: WCECS.
12. Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical methods: Fundamentals and applications* (2nd ed., pp. 1–44). Wiley.

13. Baydum, V., & Sarubbo, L. (2022). Feasibility of producing sodium hypochlorite for disinfection purposes using desalination brine. *Biointerf. Res. Appl. Chem*, 13(2), 176.
14. Beer, H. (1969). Improvements in or relating to electrodes for electrolysis. (British Patent No. 1, pp. 1–10).
15. Beer, H. B. (1980). The invention and industrial development of metal anodes. *Journal of the Electrochemical Society*, 127(8), 303C.
16. Beer, H. B. (1982). Dimensionally stable anodes. In *Electrochemistry in Industry: New Directions* (pp. 19–28). Springer.
17. Belessiotis, V., Kalogirou, S., & Delyannis, E. (2016). *Thermal solar desalination: Methods and systems*. Elsevier.
18. Bleninger, T., & Jirka, G. H. (2008). Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221(1–3), 585–597.
19. Bleninger, T., Niepelt, A., & Jirka, G. (2010). Desalination plant discharge calculator. *Desalination and Water Treatment*, 13(1–3), 156–173.
20. Brika, B. (2018). Water resources and desalination in Libya: A review. Paper presented at the 3rd EWaS International Conference, Lefkada Island, Greece.
21. Brika, B. (2019). The water crisis in Libya: Causes, consequences and potential solutions. *Desalination and Water Treatment*, 167, 351–358.
22. Brinkmann, T., Santonja, G. G., Schorcht, F., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2014). Best available techniques (BAT) reference document for the production of chlor-alkali. JRC91156.
23. Castriota, L., Beltrano, A. M., Giambalvo, O., Vivona, P., & Sunseri, G. (2001). Monitoring a hyperhaline discharge on zoobenthic communities in Ustica Island Marine Reserve. In 36th CIESM Congress.
24. Ceyhan, G., Çalışkan, E., & Işık, O. (2024). Production of sodium hypochlorite by electrochemical methods: Development of new generation electrodes. *The European Journal of Research and Development*, 4(4), 165–177.
25. Cipollina, A., Misseri, A., Staiti, G. D. A., Galia, A., Micale, G., & Scialdone, O. (2012). Integrated production of fresh water, sea salt and magnesium from sea water. *Desalination and Water Treatment*, 49(1–3), 390–403.
26. Darwish, M., Hassabou, A. H., & Shomar, B. (2013). Using SWRO desalting systems for less environmental impact in Qatar. *Desalination*, 309, 113–124.

27. Dupavillon, J. L., & Gillanders, B. M. (2009). Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish. *Marine Environmental Research*, 67(4–5), 207–218.
28. El-Hajaji, A. H. S. (2017). *Desalination Technologies and Environmental Aspects: Case Study in Libya*. Liverpool John Moores University (United Kingdom).
29. Fergani, Z., Triki, Z., Menasri, R., Tahraoui, H., Kebir, M., Amrane, A., ... & Mouni, L. (2023). Analysis of desalination performance with a thermal vapor compression system. *Water*, 15(6), 1225.
30. Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J. L., & González-Correa, J. M. (2005). Monitoring brine discharge from SWRO plants. *Desalination*, 182(1–3), 395–402.
31. Fukuzaki, S. (2006). Mechanisms of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection. *Biocontrol Science*, 11(4), 147–157.
32. Frank, H., Rahav, E., & Bar-Zeev, E. (2017). Short-term effects of SWRO brine on benthic microbial communities. *Desalination*, 417, 52–59.
33. Google. (October 2025). West Tripoli Desalination Plant [Map]. Google Maps. <https://www.google.com/maps>
34. Hach. (2013). DR2800 user manual (4th ed.). Hach Company.
35. Henwood, A. F. (2020). Coronavirus disinfection in histopathology. *Journal of Histotechnology*, 43(2), 102–104.
36. Hsu, G. S. W., Lu, Y. F., & Hsu, S. Y. (2017). Electrolysis conditions for chlorine generation. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(4), 759–765.
37. Hu, Z. (2014). Comparison of sustainability of technologies for water desalination.
38. Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., & Wie, J. M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1–3), 47–69.
39. Krishna, H. J. (2004). *Introduction to desalination technologies*. Texas Water Development Board.
40. Lattemann, S., & Höpner, T. (2008). Environmental impact of seawater desalination. *Desalination*, 220(1–3), 1–15.
41. Maddocks, A., Young, R. S., & Reig, P. (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. *World Resources Institute*, 26.
42. Mavukkandy, M. O., Chabib, C. M., Mustafa, I., Al Ghaferi, A., & AlMarzooqi, F. (2019). Brine management: From waste to resource. *Desalination*, 472, 114187.

43. Miller, J. E. (2003). Review of water resources and desalination technologies (No. SAND2003-0800). Sandia National Laboratories.
44. Nagai, N., Takeuchi, M., Kimura, T., & Oka, T. (2003). Optimum spacing between electrodes in electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28(1), 35–41.
45. Newman, J., & Balsara, N. P. (2021). *Electrochemical systems* (4th ed., pp. 323–327). John Wiley & Sons
46. Newman, J., & Thomas-Alyea, K. E. (2012). *Electrochemical systems* (3rd ed., pp. 30–80). Wiley.
47. Nistor, C., Emnéus, J., Gorton, L., & Ciucu, A. (1999). Stability of tyrosinase-based graphite electrodes. *Analytica Chimica Acta*, 387(3), 309–326.
48. Panizza, M. (2009). Importance of electrode material in electrochemical treatment. In *Electrochemistry for the Environment* (pp. 25–54). Springer.
49. Ponzano, G. P. (2007). Sodium hypochlorite: History and production. In C. Ronco & G. J. Mishkin (Eds.), *Disinfection by Sodium Hypochlorite* (Vol. 154, pp. 7–23). Karger.
50. Rabah, F. K. J., & Aldalou, M. R. (2023). Sodium hypochlorite production from brine. *Asian Journal of Chemistry*, 35(11), 2767–2772.
51. Rabah, M. A., Nassif, N., & Azim, A. A. (1991). Wear of graphite anodes during brine electrolysis. *Carbon*, 29(2), 165–171.
52. Raluy, G., Serra, L., & Uche, J. (2006). Life cycle assessment of desalination technologies. *Energy*, 31(13), 2361–2372.
53. Reig, P., Maddocks, A., & Gassert, F. (2013). World's 36 most water-stressed countries. World Resources Institute. <http://www.wri.org/blog/2013/12/world%E2%80>
54. Rodríguez, F. A., Santiago, D. E., Suárez, N. F., Méndez, J. A. O., & Veza, J. M. (2012). Evaporation rates: seawater vs. brine. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12(2), 234–240.
55. Ronco, C., & Mishkin, G. J. (Eds.). (2007). *Disinfection by sodium hypochlorite: Dialysis applications* (Vol. 154). Karger.
56. Saleem, M. (2011). Biofouling management in cooling circuits. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 33(6), 295.
57. Saleem, M., Chakrabarti, M. H., Hasan, D. U. B., Islam, M. S., Yussof, R., Hajimolana, S. A., ... & Ali, B. S. (2012). On site electrochemical production of

sodium hypochlorite disinfectant for a power plant utilizing seawater. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(5), 3929-3938.

58. Semblante, G. U., Lee, J. Z., Lee, L. Y., Ong, S. L., & Ng, H. Y. (2018). Brine pre-treatment technologies. *Desalination*, 441, 96–111.
59. Shatat, M., & Riffat, S. B. (2014). Water desalination technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(1), 1–19.
60. Shokri, A., & Sanavi Fard, M. (2023). Environmental footprints of desalination. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2), 2347–2374.
61. Stojicic, S., Zivkovic, S., Qian, W., Zhang, H., & Haapasalo, M. (2010). Tissue dissolution by NaOCl. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1558–1562.
62. Thangappan, R., & Sampathkumaran, S. T. (2008). Electrochlorination systems. *International Journal of Nuclear Desalination*, 3(2), 135–142.
63. Tota-Maharaj, T., & Tota-Maharaj, K. (2022). Environmentally improved desalination processes for brine management.
64. Trieb, F. (2007). AQUA-CSP: Concentrating solar power for seawater desalination. DLR.
65. Veerman, J., Saakes, M., Metz, S. J., & Harmsen, G. J. (2010). Reverse electro dialysis systems. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(8), 1461–1474.
66. Wheida, E., & Verhoeven, R. (2004). Desalination as a water supply technique in Libya. *Desalination*, 165, 89–97.

الملاحق

الملحق (1) المواصفة القياسية الليبية لمحلول هيبوكلوريت الصوديوم رقم 70



م ق ل 70 : 2013
دولة ليبيا

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية

محلول هيبوكلوريت الصوديوم

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية
الطريق رقم 10، حيّز صافى، ليبيا
ت. 011 43410000
ف. 011 43410000

- 1- المجال:**
تشمل هذه المواصفة القياسية الليبية الاشتراطات الواجب توفرها في محلول هيبوكلورايت الصوديوم المستخدم في الأغراض المنزلية. ولا تنطبق هذه المواصفة على هيبوكلورايت الصلبة أو المنظفات التي تحتوي على هيبوكلورايت الصوديوم.
- 2- التعريف:**
عبارة عن محلول مائي رائق ذو لون أصفر مائل للاخضرار حسب تركيز الهيبوكلورايت، ويستعمل كمبيض ومطهر للملابس والأرضيات والأدوات المنزلية، ولإزالة الروائح الكريهة، وفي تطهير المياه والأغراض الأخرى المماثلة.
- 3- الاشتراطات العامة:**
يجب أن تتوفر في محلول هيبوكلورايت الصوديوم الاشتراطات العامة التالية:
1-3 أن يكون المحلول رائقاً، وخالٍ من الشوائب والرواسب.
2-3 أن تكون جميع المواد المستخدمة في تصنيعه غير ضارة بصحة الإنسان والبيئة، ومن المواد المسموح باستعمالها دولياً.
3-3 ألا ينتج عنه عكارة عند خلطه بالماء.
- 4- الاشتراطات القياسية:**
يجب أن تتوفر في محلول هيبوكلورايت الصوديوم الاشتراطات القياسية التالية:
1-4 ألا يقل الرقم الهيدروجيني عن 11 ولا يزيد على 12.5.
2-4 ألا تقل نسبة الكلور المتاح عن 4% ولا تزيد على 7%*.
3-4 ألا تقل نسبة القلوي الحر محسوباً على هيئة هيدروكسيد الصوديوم عن 0.1 % ولا تزيد على 0.2%.
4-4 ألا يزيد محتوى الحديد والنحاس على 1 مغ/كغ.
5-4 ألا يزيد محتوى النيكل على 0.3 مغ/كغ.
6-4 ألا تقل الكثافة النوعية عند درجة حرارة 25 °س عن 1.07 ولا تزيد على 1.18.
7-4 أن يحافظ على الحد الأدنى المذكور أعلاه للكلور المتاح لفترة زمنية لا تقل عن أربعة أسابيع من تاريخ التعبئة.

*نسبة الكلور المتاح = نسبة هيبوكلورايت الصوديوم × 0.95

- 5 - التعبئة:**
يعبأ محلول هيبوكلورايت الصوديوم في عبوات ملائمة، محكمة الغلق، معتمة ، ويجب ألا تؤثر ولا تتأثر بالمنتج.
- 6 - التخزين:**
يراعى تخزين محلول هيبوكلورايت الصوديوم في جو ملائم، تتراوح درجة حرارته بين (10-30)°س، مع مراعاة عدم تعرضه للشمس المباشرة أو أي مصدر حراري آخر، واتباع خطوات التخزين الجيد.
- 7- البيانات التوضيحية:**
يجب أن تدون البيانات التوضيحية التالية على العبوة باللغة العربية- وتجوز كتابتها بلغة أجنبية أخرى بإضافة إلى اللغة العربية- وبخط واضح :-
1-7 اسم المنتج والعلامة التجارية.
2-7 اسم المصنّع وبلد الصنع.
3-7 المكونات الأساسية.
4-7 رقم التشغيل وتاريخ الصنع وانتهاء الصلاحية.
5-7 الوزن الصافي للعبوة أو الحجم بالوحدات الدولية .
6-7 طريقة الاستعمال والعبارات التحذيرية المتعلقة بالمنتج
- 8- المصطلحات الفنية:**
- | | |
|--------------------|-----------|
| Turbidity | عكارة |
| Available chlorine | كلور متاح |
| Bleaching | مبيض |
| Disinfectant | مطهر |

- 9- المراجع:**
- 1-9 المواصفة القياسية العربية رقم 1262 لسنة 2000م.
 - 2-9 المواصفة القياسية الخليجية رقم 802 لسنة 1997م.
 - 3-9 المواصفة القياسية الليبية رقم 70 لسنة 1997م.
 - 4-9 المواصفة القياسية السورية رقم 362 لسنة 1990م.
 - 5-9 مواصفة المنتج الخاصة بالشركة الكيمائية BASF .

- 10- الجهات التي شاركت في وضع المواصفة:**
- 1-10 المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية.
 - 2-10 مركز البحوث الصناعية.
 - 3-10 مركز الرقابة على الأغذية والأدوية.
 - 4-10 قسم الكيمياء- كلية العلوم - جامعة طرابلس.
 - 5-10 الهيئة العامة للبيئة.
 - 6-10 أمانة اللجنة الشعبية العامة للصناعة والمعادن.
 - 7-10 شركة دلتا للتفتيش والمطابقة.
 - 7-10 شركة الرواسي لاستيراد الأدوية والمعدات الطبية .

الملحق (2) أنواع الأقطاب المستخدمة

مسحوق الازيريديوم		Alibaba.com	
محمية الطبات		مختبرات مميزة	
المواصفات الأساسية			
ليس بودرة	مسحوق أم لا	الكهرلاني ، التحليل الكهرلاني لمعالجة مياه الصرف الصحي	الوضعية
Hebei, China	مكان المنشأ	0.996	(%) Ti Content
BoLin	اسم العلامة التجارية	Z0594	رقم الموديل
فك اللغات, القطع	معالجة الخدمة	التييتانيوم	درجة
أنود التييتانيوم	اسم المنتج	طلاء فرشاة	تقنية
ايزو	شهادة	حسب متطلبات العميل	الشكل
مؤلفاكتورر وشركة تجارية	نوع العمل	متوافرة	عينة
يمكن تخصيصها	مواصفات خاصة	10 سنوات	خبرة المصنع
		مقاومة ممتازة للتآكل, أطول وقت العمل	ميزة

صورة (1) مواصفات أنود التييتانيوم حسب الموقع



صورة (2) أنود التييتانيوم (RuO₂/TiO₂) DSA



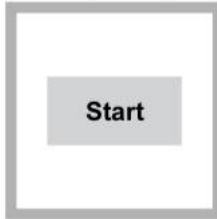
صورة (3) أقطاب الجرافيت (C)



صورة (4) جرافيت بطارية C*

- Pretreat glass sample containers to remove chlorine demand. Soak the containers in a weak bleach solution (1 mL commercial bleach to 1 liter of deionized water) for at least 1 hour. Rinse fully with deionized or distilled water. If sample containers are rinsed fully with deionized or distilled water after use, only occasional pretreatment is necessary.
- Make sure to get a representative sample. If the sample is taken from a spigot or faucet, let the water flow for at least 5 minutes. Let the container overflow with the sample several times and then put the cap on the sample container so that there is no headspace (air) above the sample.

Powder pillow procedure

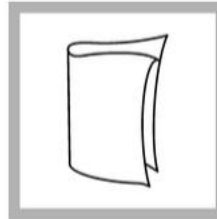


1. Start program **80 Chlorine F&T PP**. For information about sample cells, adapters or light shields, refer to [Instrument-specific information](#) on page 1.

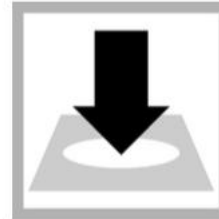
Note: Although the program name can be different between instruments, the program number does not change.



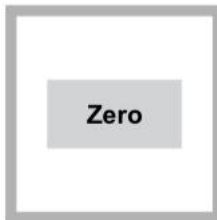
2. **Prepare the blank:** Fill the sample cell with 10 mL of sample.



3. Clean the prepared sample cell.



4. Insert the blank into the cell holder.



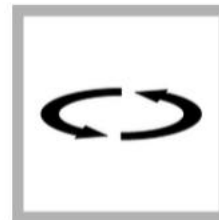
5. Push **ZERO**. The display shows 0.00 mg/L.



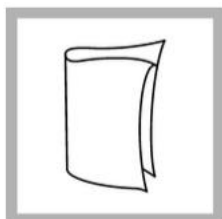
6. **Prepare the sample:** Fill a second sample cell with 10 mL of sample.



7. Add the contents of one powder pillow to the sample cell.



8. Swirl the sample cell for 20 seconds to mix. A pink color will develop if chlorine is present. Proceed to the next step immediately.



9. Clean the prepared sample cell.

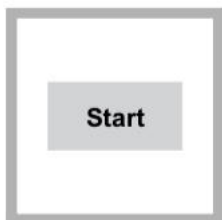


10. Within 60 seconds of the reagent addition, insert the prepared sample into the cell holder.



11. Push **READ**. Results show in mg/L Cl₂.

AccuVac Ampul procedure

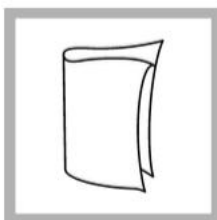


1. Start program **85 Chlorine F&T AV**. For information about sample cells, adapters or light shields, refer to [Instrument-specific information](#) on page 1.

Note: Although the program name can be different between instruments, the program number does not change.



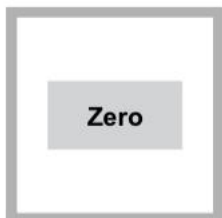
2. **Prepare the blank:** Fill the sample cell with 10 mL of sample.



3. Clean the blank sample cell.



4. Insert the blank into the cell holder.



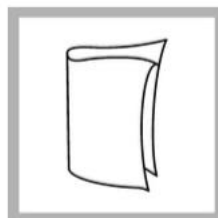
5. Push **ZERO**. The display shows 0.00 mg/L.



6. **Prepare the sample:** Collect at least 40 mL of sample in a 50-mL beaker. Fill the AccuVac Ampul with sample. Keep the tip immersed while the AccuVac Ampul fills completely.



7. Quickly invert the AccuVac Ampul several times to mix.



8. Clean the AccuVac Ampul.

الملحق (4) نتائج قطب التيتانيوم DSA - الجرافيت عند الجهد 3.5 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 3.5 cm باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	47	3.5	0.04
40 دقيقة	82	3.5	0.04
60 دقيقة	112	3.5	0.04
80 دقيقة	111	3.5	0.04
100 دقيقة	109	3.5	0.04

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 3.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	6.2	3.5	0.01
40 دقيقة	14	3.5	0.01
60 دقيقة	18.2	3.5	0.01
80 دقيقة	27.5	3.5	0.01
100 دقيقة	33.5	3.5	0.01

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 سم وجهد 3.5 فولت باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	27	3.5	0.04
40 دقيقة	40	3.5	0.04
60 دقيقة	63	3.5	0.04
80 دقيقة	67	3.5	0.04
100 دقيقة	71	3.5	0.04

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 3.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	47	3.5	0.04
40 دقيقة	66	3.5	0.04
60 دقيقة	100	3.5	0.04
80 دقيقة	103	3.5	0.04
100 دقيقة	103	3.5	0.04

الملحق (5) نتائج قطب التيتانيوم DSA- الجرافيت عند الجهد 4.5 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 4.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	149	4.5	0.15
40 دقيقة	268	4.5	0.15
60 دقيقة	272	4.5	0.14
80 دقيقة	298	4.5	0.14
100 دقيقة	304	4.5	0.14

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 4.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	82	4.5	0.12
40 دقيقة	215	4.5	0.12
60 دقيقة	262	4.5	0.12
80 دقيقة	354	4.5	0.12
100 دقيقة	370	4.5	0.12

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 cm وجهد 4.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	60	4.5	0.09
40 دقيقة	136	4.5	0.09
60 دقيقة	160	4.5	0.09
80 دقيقة	180	4.5	0.09
100 دقيقة	188	4.5	0.09

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 4.5 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	86	4.5	0.09
40 دقيقة	124	4.5	0.09
60 دقيقة	256	4.5	0.09
80 دقيقة	260	4.5	0.09
100 دقيقة	266	4.5	0.09

الملحق (6) نتائج قطب التيتانيوم DSA- الجرافيت عند الجهد 5.0 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 5.0 cm باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	186	5.0	0.04
40 دقيقة	340	5.0	0.04
60 دقيقة	430	5.0	0.04
80 دقيقة	557.5	5.0	0.04
100 دقيقة	582.2	5.0	0.04

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 5.0 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	174	5.0	0.04
40 دقيقة	318	5.0	0.04
60 دقيقة	340	5.0	0.04
80 دقيقة	510	5.0	0.04
100 دقيقة	567.5	5.0	0.04

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 cm وجهد 5.0 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	138	5.0	0.04
40 دقيقة	224	5.0	0.04
60 دقيقة	304	5.0	0.04
80 دقيقة	392	5.0	0.04
100 دقيقة	387.5	5.0	0.04

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 5.0 V باستخدام أنود تيتانيوم DSA

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	137	5.0	0.13
40 دقيقة	310	5.0	0.12
60 دقيقة	342	5.0	0.12
80 دقيقة	517.5	5.0	0.12
100 دقيقة	572.5	5.0	0.12

الملحق (7) نتائج قطبي الجرافيت (C) عند الجهد 3.5 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	0.09	3.5	0.05
40 دقيقة	0.45	3.5	0.05
60 دقيقة	0.83	3.5	0.05
80 دقيقة	1.94	3.5	0.06
100 دقيقة	0.03	3.5	0.06

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	2	3.5	0.05
40 دقيقة	5.3	3.5	0.03
60 دقيقة	6.4	3.5	0.03
80 دقيقة	4.8	3.5	0.03
100 دقيقة	3	3.5	0.03

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 cm وجهد 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	0.06	3.5	0.06
40 دقيقة	0.1	3.5	0.07
60 دقيقة	0.32	3.5	0.07
80 دقيقة	1.64	3.5	0.07
100 دقيقة	2	3.5	0.07

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 3.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	7.7	3.5	0.07
40 دقيقة	8.9	3.5	0.04
60 دقيقة	11.2	3.5	0.03
80 دقيقة	10.1	3.5	0.03
100 دقيقة	8.8	3.5	0.03

الملحق (8) نتائج قطبي الجرافيت (C) عند الجهد 4.5 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	7.8	4.5	0.13
40 دقيقة	13	4.5	0.13
60 دقيقة	13	4.5	0.12
80 دقيقة	30	4.5	0.12
100 دقيقة	42	4.5	0.12

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	75	4.5	0.21
40 دقيقة	125	4.5	0.22
60 دقيقة	150	4.5	0.22
80 دقيقة	132	4.5	0.22
100 دقيقة	117	4.5	0.22

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 cm وجهد 4.5 V فولت باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	41	4.5	0.13
40 دقيقة	58	4.5	0.12
60 دقيقة	96	4.5	0.12
80 دقيقة	99	4.5	0.12
100 دقيقة	97	4.5	0.12

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 4.5 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	46	4.5	0.16
40 دقيقة	48	4.5	0.12
60 دقيقة	62	4.5	0.11
80 دقيقة	88	4.5	0.11
100 دقيقة	60	4.5	0.11

الملحق (9) نتائج قطبي الجرافيت (C) عند الجهد 5.0 V

1- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.0 cm وجهد 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	57	5.0	0.27
40 دقيقة	102	5.0	0.27
60 دقيقة	116	5.0	0.27
80 دقيقة	182	5.0	0.27
100 دقيقة	166	5.0	0.27

2- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 1.4 cm وجهد 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	52	5.0	0.21
40 دقيقة	84	5.0	0.20
60 دقيقة	92	5.0	0.19
80 دقيقة	85	5.0	0.19
100 دقيقة	52	5.0	0.19

3- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.0 cm وجهد 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	61	5.0	0.13
40 دقيقة	90	5.0	0.12
60 دقيقة	116	5.0	0.12
80 دقيقة	116	5.0	0.12
100 دقيقة	156	5.0	0.12

4- تركيزات الكلور الحر عند مسافة 2.8 cm وجهد 5.0 V باستخدام قطبي جرافيت

الوقت	تركيز الكلور الحر (ppm)	الجهد (V)	الأمبير
20 دقيقة	46	5.0	0.16
40 دقيقة	68	5.0	0.12
60 دقيقة	80	5.0	0.11
80 دقيقة	68	5.0	0.11
100 دقيقة	59	5.0	0.11

المُلحق (10) رد اللجنة بقبول الورقة في المؤتمر الدولي للطاقات المتجددة للنفط والغاز

Dear ريجان الشيباني,
Greetings from the Organizing Committee of the International Renewable Energy, Gas & Oil, and Climate Change Conference (IREGOCC 2025).

We are pleased to inform you that your submitted abstract titled "تصنيع هيبوكلوريت الصوديوم من الماء الراجع من محطة تحلية غرب طرابلس باستخدام أقطاب DSA تيتانيوم" with Abstract ID: [81] has been accepted .

We now kindly invite you to proceed with the full paper submission, in accordance with the guidelines provided on the official conference website:

<https://irego-conference.ly/index.html>

Please ensure that your full paper follows the formatting and submission instructions outlined on the website. The deadline for full paper submission is December 1st, 2025.

Should you have any questions or require further assistance, feel free to contact us at: info@irego-conference.ly

We look forward to your valuable contribution to the success of IREGOCC 2025.

With best regards,

Dr. Mohamed Al-Tuhami
Head of the Scientific Committee
IREGOCC 2025

Email: m.tuhami@irego-conference.ly

Website: <https://irego-conference.ly/index.html>