بحوث المؤتمر العلمي الأول
لكلية العلوم

التلوث البيئي وتحديات الاستدامة البيئية

تحت شعار : التصالح مع البيئة

سرت 14 اكتوبر 2025م

تحرير

ا.د. عبدالسلام الصالحين محمد

ا.د. حسين مسعود ابومدينه

د. أشرف مصطفى ابوسنينة

د. فتحية عبدالجواد موسى

منشورات مركز البحوث والاستشارات بجامعة سرت

الطبعة الأولى 2025م

Types of Article Open Access

المؤتمر العلمي الأول لكلية العلوم – جامعة سرت

"التلوث البيئي وتحديات الاستدامة البيئية"

EPESC

14 أكتوبر 2025

الجزء الثاني: خاص بالورقات المقدمة باللغة العربية

الوكالة الليبية للرقم الدولي الموحد للكتاب (ISBN)
ISBN 978-9959-891-67-9

لجان المؤتمر

اللجنة العليا

أ.د. سليمان مفتاح الشاطر	رئيس الجامعة
أ.د. الطيب محمد القبي	وكيل الجامعة
د. أشرف مصطفى أبوسنينة	عميد الكلية

اللجنة العلمية

أ.د. عبد السلام الصالحين محمد	كلية العلوم / جامعة سرت	رئيساً
أ.د. احميد محمد يونس	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً
أ.د. رمضان عبدالمولى الهنداوي	كلية العلوم / جامعة عمر المختار	عضواً
أ.د. تهاني يونس عمر	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً
د. فتحية عبد الجواد موسى	كلية العلوم / جامعة سرت	عضواً

اللجنة التحضيرية

أ. زينب رجب الفيتوري	رئيساً
أ. علي محمد عمرناجي	عضواً
أ. علي عبد الرحيم الغزالي	عضواً
د. سعاد أحمد أبومريم	عضواً
عبد الحليم مفتاح الشاطر	عضواً
خالد جمعة امهلهل	عضواً
سفيان سالم الشعالي	عضواً
علي مصطفى مكادة	عضواً
يوسف الكرامي	عضواً

محرري كتيب المؤتمر:

أ.د. عبد السلام الصالحين محمد
ا.د. حسين مسعود ابومدينة
د. أشرف مصطفى أبوسنينة
د. فتحية عبد الجواد موسى

ايميل التواصل: epesc@su.edu.ly

موقع المؤتمر: https://su.edu.ly/research/index.php/conferences/science/sc1

المحتويات

1. الدور الإيكولوجي لنبات الخروع *Ricinus communis* L في التكيف مع تلوث التربة بالمعادن الثقيلة في البيئات الساحلية شبه القاحلة: دراسة حالة وادي السهل الغربي، شمال شرق ليبيا 220

2. استخدام مخلفات البلاستيك الصناعي في تطوير مستشعر حساس ومرن للكشف عن الزلال (الألبومين) في الدم 229

3. مقارنة كهروكيميائية لإنتاج غاز الهيدروجين من مياه البحر مع مصادر مائية اخرى: دراسة حالة من محطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق - ليبيا 244

4. الأمن البيئي في ظل تطور الذكاء الاصطناعي واستخدامه في منظومة أسلحة الدمار الشامل: دراسة في ضوء القانون الدولي العام 257

5. تقدير نسبة تلوث سمكة البوري ببعض الناصر الثقيلة (Cd, Pb, Cu) في حوض سرت. 269

6. تأثير ملوحة المياه المختلفة على أداء النمو ومعدل البقاء وبعض الخصائص الكيميائية في اسماك البلطي كمورد اقتصادي في ليبيا 275

7. دراسة الغطاء النباتي لحافة الجنوبية الجبل الاخضر- شرق ليبيا 286

8. استخدام بعض المستخلصات النباتية كمبيدات صديقة للبيئة لمكافحة (سوس الدقيق) خنفساء الدقيق المشابهة *Tribolium confusum* (duVal) (*Coleoptera: Tenebrionidae*) 305

9. تأثير نبات عدس الماء *Lemna minor* على بعض الخواص الكيميائية في مياه الصرف الصحي في مدينة البيضاء 324

10. التلوث الصناعي للمياه كتهديد للأمن المائي: مقاربة قانونية لحماية الموارد المائية 339

11. صناديق التعويضات كوسيلة من وسائل التعويض الحديث عن الضرر البيئي 364

12. تأثير المياه السوداء على جودة إنتاج محطات التناضح العكسي في مدينة طبرق 382

13. تأثير اضافة مصدر كربون ومصدر نيتروجين على التركيب الكيميائي للبروتينات والدهون 396

14. انتاج الغاز الحيوي من المخلفات العضوية نهج مستدام لتعزيز الطاقة النظيفة في مدينة طبرق 404

15. رصد المخاطر البيئية وآثارها على المواقع الأثرية في مدينة لبدة الكبرى شمال غرب ليبيا 420

16. أوجه حماية البيئة وأحكام المسئولية عن التلوث البيئي وفقا لأحكام القانون الليبي 440

17. البيئة والأمن في العلاقات الدولية "دراسة تحليلية مقارنة ليبيا – اليابان" 455

18. تقييم أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي بمدينة رأس لانوف وإمكانية إعادة استخدام المياه المعالجة 476

19. دراسة الخواص الفيزيائية لمياه الشرب بحي المجاهد / هون – الجفرة 496

20. تقييم كفاءة أداء محطات معالجة مياه الصرف الصناعي في رأس لانوف 504

The First Scientific Conference of the Faculty of Science – Sirte University
Environmental Pollution and Challenges of Environmental Sustainability (EPESC), Oct. 14, 2025

مقارنة كهروكيميائية لإنتاج غاز الهيدروجين من مياه البحر مع مصادر مائية اخرى: دراسة حالة من محطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق - ليبيا

ساسي مجدي عسكر[1]، محمد رزق أبوبكر[2]، امبيريكة محمد صالح[3]، جلال محمد المنفي[4]، رمضان عبدالمولى الهنداوي[1]

[1] قسم الموارد الطبيعية - كلية الموارد الطبيعية وعلوم البيئة - جامعة عمر المختار، البيضاء - ليبيا
[2] الشركة العامة لتحلية مياه البحر – محطة تحلية مياه البحر، طبرق – ليبيا
[3] قسم الكيمياء، كلية الآداب والعلوم، جامعة الكفرة، ليبيا
[4]قسم الكيمياء – كلية العلوم- جامعة عمر المختار، البيضاء – ليبيا
Corresponding Author ramadanalhendawi@hotmail.com

Article History:

Received: 02 April 2025

Revised: 17 May 2025

Published: 15 November 2025

الكلمات المفتاحية:

إنتاج الهيدروجين؛ التحليل الكهروكيميائي؛ الجهد المطبق؛ خلية هوفمان؛ محطة التحلية.

الملخص: هدفت هذه الدراسة إلى تقييم إنتاج غاز الهيدروجين عن طريق التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر وأنواع مختلفة من المياه باستخدام أقطاب متعددة، شملت أقطاب الجرافيت والبلاتين، وذلك ضمن منظومة خلية هوفمان وباستخدام جهود كهربائية مختلفة (5، 10، 15، 20، 25، 30 فولت) عند تيار ثابت مقداره 1 أمبير ولمدة ساعتين. كما تم تسجيل قراءات إنتاج الهيدروجين من المحلل الكهربائي بمحطة تحلية مياه البحر في مدينة طبرق الليبية خلال مرحلة إنتاج الكلور. تم استخدام عدة أدوات وتقنيات تحليلية لقياس الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمحاليل قيد الدراسة، وذلك بهدف دراسة تأثير تركيز بعض المحاليل المائية على حجم غاز الهيدروجين الناتج. أظهرت النتائج أن حجم إنتاج غاز الهيدروجين يزداد بشكل عام مع زيادة الجهد الكهربائي. وقد تم تسجيل أعلى حجم لإنتاج الهيدروجين باستخدام تقنية التحليل الكهروكيميائي، حيث بلغ 50.6 مل خلال 55 دقيقة عند جهد كهربائي قدره 15 فولت في ماء البحر، وذلك بالمقارنة مع المحاليل المائية الأخرى المضافة إلى الماء المقطر (DW) كشاهد لكل منهما عند تركيز (M0.05)، وهي كلوريد الصوديوم (NaCl)، وهيدروكسيد البوتاسيوم (KOH)، وحمض الهيدروكلوريك (HCl). مما يعني أن توفر الموصلية الأيونية العالية في ماء البحر (EC) تعكس انتاجية عالية للهيدروجين (H_2). وهذا يتطابق مع نتائج هذه الدراسة بأن معدل إنتاج الهيدروجين تزداد بزيادة كل من التيار (الأمبير) والجهد الكهربائي (الفولت) في كلا النظامين في ماء البحر (نظام التحليل

الكهروكيميائي المستخدم في محطة التحلية بطبرق وفي المختبر نظام خلية هوفمان). في الختام تؤكد هذه الدراسة أن مياه البحر تمثل مصدرًا اقتصاديًا وفعّالًا لإنتاج غاز الهيدروجين، مما يجعلها خيارًا واعدًا كمصدر آمن ومستدام للطاقة البديلة، يسهم في تنويع مصادر الدخل ودعم التنمية الاقتصادية في ليبيا.

المقدمة

أدى ارتفاع أسعار النفط ومشتقاته والتنبؤ بندرته في المستقبل وانبعاث غازات الاحتباس الحراري إلى تجدد اهتمام العلماء والسلطات في اغلب دول العالم باستخدام الطاقات المتجددة البديلة (Saadi et al., 2008). إذ يعد إنتاج الهيدروجين بتكلفة منخفضة من مصادر متجددة أحد التحديات الكبرى لأبحاث الطاقة (Bailleux & Clément, 1989; CEA, 2004). شهد العالم خلال القرن العشرين سلسلة من الثورات العلمية والتكنولوجية أدت إلى زيادة دور موارد الطاقة كعامل أساسي في التنمية الاقتصادية والاجتماعية. لقد قامت الحضارة الحديثة على استخدام الوقود الأحفوري، حيث يلبي الوقود الأحفوري والفحم والنفط الطبيعي 80 % من الطلب العالمي على الطاقة ومع ذلك فإن الاستهلاك المتزايد باستمرار للطاقة سيؤدي في النهاية إلى نضوبها وقبل ذلك إلى زيادة أسعار الطاقة أكثر. وبدلاً من ذلك أصبح الوقود الأحفوري قوة مدمرة للبيئة بما يحمله من ملوثات بيئية ضارة ومخاطر صحية ومع ذلك، لتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، يفضل توليد الكهرباء باستخدام تقنيات الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الكهرومائية، والطاقة النووية، أو الفحم والغاز الطبيعي مع عزل الكربون. حاليا يحظى إنتاج الهيدروجين باهتمام متزايدة في جميع أنحاء العالم بسبب إمكانات الطاقة الهائلة (Bailleux & Clément, 1989; CEA, 2004). يمكن إنتاج الهيدروجين من التحليل الكهربائي للماء باستخدام جهود فولت واقطاب مختلفة. كما يمكن إنتاج الهيدروجين من مصادر مختلفة مثل النفط والفحم والكتلة الحيوية والغاز الطبيعي والطحالب والكحول والتحليل الكهربائي للمياه والتحليل الكهربائي للرياح والتحليل الكهربائي للطاقة الحرارية الأرضية والتحليل الكهربائي الضوئي. ومع ذلك، فإن التحليل الكهربائي للماء أكثر ملاءمة لقطاعات الصناعة التي تتطلب هيدروجينًا عالي النقاء (Oualid, 2009).

بسبب درجة حرارته المنخفضة جدا، فان الهيدروجين السائل يجعل المواد التي تتلامس معه بشكل مباشر قابلة للتفتيت. نظرا لخصائصه الكيميائية، حيث يعتبر الهيدروجين أساسا عامل اختزال ويستخدم بشكل أساسي على هذا النحو في الصناعة الكيميائية، وإذا أخذنا في الاعتبار الجانب الكيميائي، فإن الهيدروجين غير سام ولكنه يسبب اختناق إذا تواجد بكميات زائدة في الهواء (Sahli, 2010; AFHYPAC - IFPEN, 2019; Hidrogeno y pilas de combustible, 2004).

عملية التحليل الكهربائي للماء تقنية نظيفة للغاية وفعالة من حيث التكلفة، ويمكن أن تنتج أكثر من 99.98% من غاز الهيدروجين النقي (Khemais, 2018; Yuvaraj & Santhanaraj, 2013). لا يتحلل الماء تلقائيًا إلى هيدروجين وأكسجين، بل يجب منحه الطاقة من أجل ذلك. وبالتالي فإن التحليل الكهربائي للماء هو تفاعل كهروكيميائي، والذي يحدث في جهاز خاص يسمى المحلل الكهربائي، حيث يتم فيه حقن تيار كهربائي باستخدام مولد كهربائي "والماء السائل"، ويتم استرداد غاز الهيدروجين والأكسجين عند المخرج. لذلك نحن نقوم بعملية كيميائية، أي أننا نحول مركبا كيميائيًا "ماء" إلى مركبات كيميائية أخرى (الهيدروجين والأكسجين) بالكهرباء (Khemais, 2018; Yuvaraj & Santhanaraj, 2013). أظهرت بعض الدراسات السابقة أنه يمكن دراسة تأثير الجهد المطبق على تفاعل تطور الهيدروجين على قطب الجرافيت

الأسطواني عند درجة حرارة 593 كلفن مع تركيز 0.025 M مولار من KOH. كما تبلغ درجة الحموضة pH والتوصيل الأيوني لهيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) 12.91 و 38.7 مللي سيمينس / سم (mS / cm) على التوالي. حيث يتراوح الجهد المطبق من 9 إلى 12 فولت. وتبين هذه الدراسات أن معدل إنتاج غاز الهيدروجين يزداد تدريجيا مع زيادة الجهد المطبق (Zeng & Zhang, 2010; Imperiyka et al., 2017; Yepez-Madrigal, 2024) وقد وجد أن مياه البحر تظهر قيمة عالية في إنتاج الهيدروجين (Zhang et al., 2024).

الهدف من هذه الدراسة هو استخدام التقنيات الجديدة المستخدمة في إنتاج الهيدروجين من مياه البحر مباشرة أثناء عملية إنتاج الكلور المعتمدة بمحطة تحلية مياه البحر في مدينة طبرق الليبية، و التي من خلالها نقوم بدراسة إمكانية الاستفادة القصوى من غاز الهيدروجين الصاعد إلى الهواء الجوي بطريقة سهلة وغير مكلفة وقياس بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية لمياه البحر او مصادر المياه الأخرى المصاحبة لإنتاج الهيدروجين أثناء عملية التحليل الكهروكيميائي، واختيار أفضل السبائك الداخلة في عملية التحليل الكهروكيميائي لإنتاج الهيدروجين واختبار تأثير بعض معاملات التشغيل، ودراسة تأثير الملوحة على تدفق انتاج الهيدروجين بواسطة استخدام نظام التحليل الكهرو كيمائي لأنواع المياه المستخدمة. ومن خلال عرض النتائج المتحصل عليها من إنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهروكيميائية لمياه البحر وأنواع مياه أخرى تحت الدراسة سنعطي مؤشر لأهم النقاط التي تظهر في نهاية هذه الدراسة والآفاق المحتملة لاستمرار هذا العمل في محطات تحلية مياه البحر الكبرى في ليبيا للمساهمة في نهضة بلادنا وتقدمها.

2. المواد وطرق العمل Materials and Methods:

في هذه الدراسة تم استخدام الأجهزة والأدوات المعملية اللازمة مثل: أنابيب اختبار وسحاحات وماصات ومخابير مدرجة ودوارق مخروطية وحجمية وغيرها. بالإضافة الى المواد التالية: - مقياس الأس الهيدروجيني الرقمي pH-meter، مقياس التوصيلية الكهربائية (EC) والأملاح الذائبة الكلية (TDS) والملوحة وأجهزة أخرى ذات العلاقة بتقنيات التحليل الكهروكيميائي.

حيث تم قياس الهيدروجين معمليا في عينات مياه البحر وماء مقطر (Control) وأخرى ماء مقطر مضاف اليه محاليل مائية أخرى مثل: هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وكلوريد الصوديوم (NaCl) وحمض الهيدروكلوريك (HCl). وذلك باستخدام خلية هوفمان واقطاب مختلفة (بلاتين – جرافيت) عند جهود فولت مختلفة (Voltage: 5-30v) + تيار شدته واحد 1 أمبير (A -1) لمدة ساعتين. ومقارنتها مع الهيدروجين الناتج من محطات التحلية (المياه المعالجة) باستخدام تقنيات التحليل الكهروكيميائي القائمة في مصنع إنتاج الكلور بمحطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق. تم استخدام التحليل الإحصائي لبعض النتائج بالبرنامج الإحصائي SPSS.

3. طريقة العمل والخطة البحثية Research Methodology:

في هذا البحث تم دراسة إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر (كمصدر اقتصادي للمياه) عمليا في مصنع إنتاج الكلور السائل بمحطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق الليبية. وكما نعلم ان الهيدروجين هو ناقل للطاقة لا يتوفر مباشرة في الطبيعة؛ لذا يجب أن يتم تصنيعه قبل تخزينه واستخدامه ويتم الحصول على الهيدروجين أساسا عن طريق إعادة تشكيل أو عملية تحويل الهيدروكربونات إلى غاز وبالتحليل الكهربائي للمياه. وكذلك تم دراسة

إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهرو كيميائي لمياه التحلية المعدلة للشرب والمياه المقطرة ومقارنتها مع إنتاج الهيدروجين عن طريق حقن الخلية بمياه البحر مباشرة لمقارنة أي نوع من المياه أفضل لإنتاج غاز الهيدروجين.

4. خطوات العمل: -

أولا: - إنتاج الهيدروجين بطريقة التحليل الكهربائي لمياه البحر في مصنع قائم لإنتاج الكلور السائل في محطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق.

حيث سجلت في هذه الدراسة تدفق ثابت لتغذية مياه البحر الى المحطة بمعدل15 m3/h، تحت تأثير تيار عالي DC 1000 A وجهد كهربائي 100 فولت. وقد سجلت الشركة الفرنسية Sidem (2002) المنفذ للمشروع اثنا فترة تركيب وتشغيل مصنع الكلور في محطة تحلية مياه البحر بطبرق سنة 2002. بان اعلى انتاج للكلور هو 25 كيلوجرام / ساعة عند اعلى تيار وهو 1000 امبير ليكون انتاج غاز الهيدروجين 8.75 متر مكعب / ساعة كما هو موضح بالجدول (1).

جدول (1): يوضح انتاج الهيدروجين والكلور بمصنع الكلور في محطة تحلية مياه البحر طبرق.

ت	العنصر	كمية الانتاج عند 500 أمبير	كمية الانتاج عند 700 أمبير	كمية الانتاج عند 1000 أمبير
1	الهيدروجين	$4.375\ m^3/h$	$6.125\ m^3/h$	$8.75\ m^3/h$
2	الكلور السائل	12.5 kg/h	17.5 kg/h	25 kg/h

ومن الأهداف الرئيسية لعملية التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر في مصنع الكلور المستخدم لتطهير مياه البحر قبل الدخول لوحدات التحلية للقضاء على الكائنات البحرية الموجودة بمياه البحر. حيث غاز الهيدروجين ينتج خلال التفاعلات الكيميائية أثناء عملية التحليل الكهربائي لمياه البحر ويتصاعد الى الهواء الجوي بكميات هائلة دون تخزينه او الاستفادة منه كمصدر للطاقة، وهذا يحدث مع جميع محطات التحلية في ليبيا.

وبالتالي، نتوقع إن تعطي هذه الدراسة نتائج جيدة باستخدام تقنيات سهلة ومتوفرة لإنتاج الهيدروجين كمصدر أساسي للطاقة من خلال تقنيات التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر بديل عن مصادر الطاقة الأخرى المكلفة والخطرة على الصحة والبيئة، ونساهم في نهضة بلادنا وتقدمها في هذا المجال.

ثانيا: - إنتاج الهيدروجين بطريقة التحليل الكهربائي في المختبر عن طريق تصميم خلية تحليل (خلية هوفمان) لمقارنة كميات الهيدروجين المنتجة من الأنواع المختلفة من المياه.

يستخدم جهاز هوفمان لغرض تحليل الماء وتحديد التركيب الكيميائي بالتحليل الكهربائي. تحتوي الوحدة الزجاجية على طرفين متصلين سعة كل منهما حوالي 50 مل (مدرج من 2 مل الى 50 مل). يبلغ الحجم الإجمالي حوالي 150 مل وأنبوب خزان متكامل ومصباح على شكل قمع مع محبس في أعلى كل طرف يملأ الجهاز بالمحلول من خلال القمع المركزي. يفتح المحبسان لفترة وجيزة لإخراج الهواء من الأنابيب المدرجة. يمر تيار مستمر شدته 1 أمبير عبر الأقطاب الكهربائية. عند تشغيل الجهاز تخرج فقاعات من الأقطاب الكهربائية وترتفع على الأطراف الجانبية لتشكل عمود غاز تحت كل صنبور. يطلق الكاثود الهيدروجين والانود الأكسجين. نظريا يطلق الهيدروجين ضعف حجم الأكسجين، مع ذلك يعد الأكسجين أكثر قابليه للذوبان في الماء من الهيدروجين، لذا عادة ما تكون الكمية المقاسة اقل من المتوقع. بعد جمع 50 مل من الغاز

يمكن فتح محبس الغاز لجمعه في أنبوب اختبار صغير. يمكن اختبار الغاز حيث يصدر غاز الهيدروجين صوت فرقعه عند اشتعاله.

5. النتائج والمناقشة:

أولا: -إنتاج الهيدروجين بطريقة التحليل الكهربائي لمياه البحر في مصنع قائم لإنتاج الكلور السائل في محطة تحلية مياه البحر بمدينة طبرق:

يوضح الشكل (1) المرحلة الثانية من خطوات تشغيل المحطة وهي مرحلة التحكم وتجهيز الظروف التشغيلية لبدء عملية التحليل الكهركيميائى داخل الخلية قراءة لكمية المياه التي تم حقنها داخل الخلية. كذلك يوضح الجدول (2) الخواص الكيميائية والفيزيائية لعينات مياه البحر قبل وبعد عملية إنتاج الكلور والهيدروجين في مصنع الكلور بمحطة تحلية مياه البحر بطبرق.

شكل (1): المرحلة الثانية قراءة لكمية المياه التي تم حقنها داخل الخلية

جدول (2): الخواص الكيميائية و الفيزيائية لعينات مياه البحر (ثلاثة مكررات/ *ساعة) قبل* (A) *وبعد* (B) *عملية* إنتاج الكلور والهيدروجين.

Sample No	mg / L (ppm)						
	pH	EC	TDS	NaCl	NaOCl	Cl	DO
1- (A)	8.2 b	60600 a	36320 a	7605 a	29.2 b	1414.8 b	3.48 b
1- (B)	9.4 a	59800 a	35242 a	7020 b	49.7 a	1535.2 a	7.65 a
2- (A)	8.2 b	62200 a	37200 a	7712 a	36.5 b	1433.5 b	3.60 b
2- (B)	9.5 a	59400 a	35615 a	7054 b	43.8 a	1672.2 a	7.74 a
3- (A)	8.2 b	60300 a	34250 b	7450 a	36.5 b	1403.5 b	3.52 b
3- (B)	9.6 a	59500 a	33700 b	7122 b	58.4 a	1529.6 a	7.93 a

- القيم المتبوعة بنفس الحرف أو الحروف داخل كل عمود لا تختلف معنويا فيما بينها طبقاً لإختبار أقل فرق معنوي المعدل عند مستوى 5 % p

إن الهدف الأساسي من مصنع الكلور السائل في محطة تحلية طبرق هو انتاج هيبوكلوريت الصوديوم حيث يتم إنتاج او توليد هيبوكلوريت الصوديوم في الموقع لتطهير مياه البحر عن طريق التحليل الكهربائي لمياه البحر، لا داعي لشراء أي مواد كيميائية للتطهير، لأن المكونات الضرورية موجودة في مياه البحر. تعتمد عملية الكلوره الكهربائية على التحليل الكهربائي الجزئي لكلوريد الصوديوم الموجود في مياه البحر الخام.

$$NaOCl \rightarrow NaCl + O$$

عندما تتدفق مياه البحر بين الأقطاب الكهربائية الأنودية والكاثودية، يتم تنشيطها بواسطة تيار مباشر في الخلية (المحلل الكهربائي)، تحدث تفاعلات كيميائية في مياه البحر بين أقطاب المحلل الكهربائي. وبتمرير تيار مباشر خلال محلول مائي من أيونات كلوريد الصوديوم، والذي يتفكك تمامًا إلى أيونات الصوديوم Na^+ وأيونات الكلوريد Cl^-، تحدث تفاعلات مختلفة على النحو التالي:

أ. التفاعلات الكهروكيميائية (التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم):

1. يتم توليد الكلور الحر عند الأنود:

$$2\ Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2\ (g)} + 2\ e^- \qquad \text{(تفاعل أكسدة Oxidation)}$$

2. ينتج الهيدروجين عند الكاثود مع تكوين أيونات الهيدروكسيد المقابلة:

$$2\ H_2O_{(l)} + 2\ e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2\ OH^-_{(aq)} \qquad \text{(تفاعل اختزال Reduction)}$$

التفاعل الكهروكيميائي الإجمالي هو:

$$2\ Cl^-_{(aq)} + 2\ H_2O_{(l)} \rightarrow Cl_{2\ (g)} + H_{2(g)} + 2\ OH^-_{(aq)} \qquad \text{(التفاعل الأيوني)}$$

$$2NaCl_{(aq)} + 2\ H_2O_{(l)} \rightarrow Cl_{2\ (g)} + H_{2(g)} + 2\ NaOH_{(aq)} \qquad \text{(التفاعل الجزيئي)}$$

مع ملاحظة إن الصوديوم Na^+ أصعب اختزالا من الماء لذلك يبقى في المحلول دون تغيير يذكر وبناء على ذلك يحدث اختزلا للماء بكل سهولة. وفي المقابل نجد إن الكلور Cl^- أسهل أكسدة من الماء لذلك يحدث له عملية أكسدة ويتضح ذلك من المعادلات أعلاه. وتعتبر هذه الطريقة مصدرا مهما لإنتاج غاز الهيدروجين والكلور معا.

ب. التفاعل الكيميائي المصاحب للعملية:

1. تنتقل أيونات OH^- من منطقة الكاثود وتتفاعل مع $Cl2$:

$$2\ OH^- + Cl_2 \rightarrow ClO^- + Cl^- + H_2O$$

ج. التفاعل الكهروكيميائي والكيميائي الشامل:

1. الشكل الأيوني:

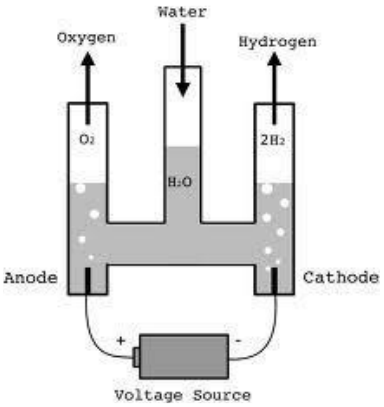
$$2\ Cl^- + 2\ H_2O \rightarrow ClO^- + Cl^- + H_2O + H_2$$

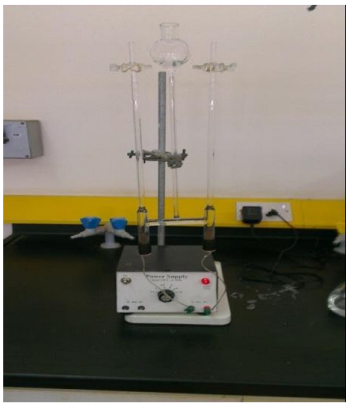
2. الشكل الجزيئي:

$$2\ NaCl + 2\ H_2O \rightarrow NaOCl + NaCl + H_2O + H_2$$

وتنفيذا لتعليمات الأمان المتبعة بالمحطة يتم تخفيف الهيدروجين بالهواء عن طريق مراوح خاصة تسمى مراوح التخفيف (Dilution fans) بقدرة 1600 متر مكعب هواء / ساعة من أجل تقليل تركيز الهيدروجين إلى أقل من 2 بالمائة فورًا عند فصله عن السائل في خزان تجميع الهيبوكلوريت لتفادى أي أخطار ممكنة في حال توفر ظروف الاشتعال.

ثانيا: - إنتاج الهيدروجين في المختبر بطريقة التحليل الكهربائي (خلية هوفمان):





شكل (2): جهاز خلية هوفمان لإنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهروكيميائي للمياه*[13]*

وصف التحليل الكهروكيميائي للماء:-

1)- عند الكاثود Cathode (القطب السالب):

تنجذب الأيونات الموجبة نحو الكاثود، ويحيط بكل أيون مجموعة من جزيئات الماء. تنفصل بعض جزيئات الماء إلى أيون +H وأيون -OH تتحد أيونات +H مع الإلكترونات من القطب وتصبح ذرات الهيدروجين (H+). ثم يتجمعون معا في أزواج وتتجه إلى سطح الماء على شكل جزيئات الهيدروجين (H2) لتكوين جزيئين من H2 حسب التفاعل التالي:

$$2H_2O + 2e^- \Longrightarrow 2H_2 + 2OH^-$$

2)- عند الأنود Anode (القطب الموجب):

تنجذب الأيونات السالبة (-OH) إلى القطب الموجب (الانود)، ويحيط بكل أيون مجموعة من جزيئات الماء. تنفصل بعض جزيئات الماء إلى أيون O-2 وأيونات 2H+. يتم تجريد الإلكترونين الإضافيين من كل أيونO-2 بواسطة الأنود ويصبحان ذرات أكسجين (O). ثم تتجمع ذرات الأكسجين معًا في أزواج وتنتقل إلى سطح

الماء على شكل جزيئات الأكسجين (O2). تنجذب الإلكترونات الأربعة التي يلتقطها القطب الموجب إلى مصدر الجهد. سوف تتحد أيونات+H المتبقية حول الأيونات السالبة في النهاية مع أيونات-OH المتبقية حول الأيونات الموجبة لتكوين جزيئات الماء. لذلك، يتم كتابة التفاعل عند هذا القطب حسب التفاعل التالي:

$$2H_2O \Longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

1- تأثير الجهود المختلفة المطبقة لإنتاج الهيدروجين من مياه البحر باستخدام قطب الجرافيت:

تم دراسة تأثير الجهد المطبق المختلف على إنتاج الهيدروجين باستخدام التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر، ويبين الجدول (3) تأثير الجهد المطبق المختلف 5، 10، 15، 20، 25 و30 فولت على معدل إنتاج الهيدروجين لمدة 120 دقيقة باستخدام قطب الجرافيت.

الجدول (3): يوضح حجم غاز الهيدروجين الناتج من التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر باستخدام جهد يتراوح بين 5 و30 فولت لمدة 120 دقيقة باستخدام قطب الجرافيت.

Time (min)	Volume H_2 (ml) **5V**	Volume H_2 (ml) **10V**	Volume H_2 (ml) **15V**	Volume H_2 (ml) **20V**	Volume H_2 (ml) **25V**	Volume H_2 (ml) **30V**
5	0.6	1.5	4.6	9.5	11.6	13.9
10	1.2	3	9.2	19	23.3	27.8
15	1.8	4.5	13.8	28.5	34.9	41.7
20	2.4	6	18.4	38	46.6	50.4
25	3	7.5	23	47.5	48.9	
30	3.6	9	27.6	49.4		
35	4.2	10.5	32.2			
40	4.8	12	36.8			
45	5.4	13.5	41.4			
50	6	15	46			
55	6.6	16.5	**50.6**			
60	7.2	18				
65	7.8	19.5				
70	8.4	21				
75	9	22.5				
80	9.6	24				
85	10.2	25.5				
90	10.8	27				
95	11.4	28.5				
100	12	30				
105	12.6	31.5				
110	13.2	33				
115	13.8	34.5				
120	14.4	36				

2- تأثير الجهود المختلفة المطبقة لإنتاج الهيدروجين من مياه البحر باستخدام قطب البلاتين:

يبين الجدول (4) تأثير الجهد المطبق المختلف (من 5 إلى 30 فولت) على معدل إنتاج الهيدروجين (حجم غاز الهيدروجين) الناتج من التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر لمدة 120 دقيقة باستخدام قطب البلاتين.

الجدول (4): يوضح حجم غاز الهيدروجين الناتج من التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر باستخدام جهد يتراوح بين 5 و 30 فولت لمدة 120 دقيقة باستخدام قطب البلاتين.

Time (min)	Volume H_2 (ml) **5V**	Volume H_2 (ml) **10V**	Volume H_2 (ml) **15V**	Volume H_2 (ml) **20V**	Volume H_2 (ml) **25V**	Volume H_2 (ml) **30V**
5	0.8	1.2	2.4	3.1	4.3	5.5
10	1.6	2.4	4.8	6.3	8.6	11
15	2.4	3.6	7.2	9.4	12.9	16.5
20	3.2	4.8	9.6	12.6	17.2	22
25	4	6	12	15.7	21.5	27.5
30	4.8	7.2	14.4	18.9	25.8	33
35	5.6	8.4	16.8	22	30.1	38.5
40	6.4	9.6	19.2	25.2	34.4	44
45	7.2	10.8	21.6	28.3	38.7	50
50	8	12	24	31.5	43	
55	8.8	13.2	26.4	34.6	47.3	
60	9.6	14.4	28.8	37.8	50	
65	10.4	15.6	31.2	40.9		
70	11.2	16.8	33.6	44.1		
75	12	18	36	47.2		
80	12.8	19.2	38.4	50		
85	13.6	20.4	40.8			
90	14.4	21.6	43.2			
95	15.2	22.8	45.6			
100	16	24	48			
105	16.8	25.2	50			
110	17.6	26.4				
115	18.4	27.6				
120	19.2	28.8				

3- تأثير الجهود المختلفة المطبقة لإنتاج الهيدروجين من عينات ماء مقطر ومحاليل مائية أخرى باستخدام **قطبي الجرافيت والبلاتين:**

يوضح الجدول (5) تأثير الجهود المطبقة المختلفة (من 5 إلى 30 فولت) على معدل إنتاج الهيدروجين الناتج من التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر وعينات ماء مقطر (Control) ومحاليل مائية من كلوريد الصوديوم (NaCl) وهيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) وحامض الهيدروكلوريك (HCl) خلال زمن ساعة واحدة باستخدام قطبي الجرافيت (G) البلاتين (P).

الجدول (5): يوضح حجم غاز الهيدروجين (مل) الناتج من التحليل الكهروكيميائي (جهاز خلية هوفمان) لعينات مياه البحر وماء مقطر (Distilled water) ومحاليل مائية أخرى مضافة (HCl - KOH - NaCl) وذلك باستخدام جهد يتراوح بين 5 و 30 فولت خلال زمن (ساعة) باستخدام قطب الجرافيت (G) وقطب البلاتين (P).

المعاملة	Volume H_2 (ml) **5V**		Volume H_2 (ml) **10V**		Volume H_2 (ml) **15V**		Volume H_2 (ml) **20V**		Volume H_2 (ml) **25V**		Volume H_2 (ml) **30V**	
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
Control (Distilled water)	N.d	N.d	N.d	N,d	N.d	N,d	N.d	N,d	N.d	N,d	N.d	N,d
Control (Distilled water) + NaCl / 0.05 M	18	9.2	33.6	14.4	50	25.4	50	35.8	50	46	50	50
Control (Distilled water) + KOH / 0.05 M	N.d	N,d	1.6	2.2	3	4.2	7	8.4	10	9.4	14.4	10.6
Control (Distilled water) + HCl / 0.05M	50	28	50	40	50	45	50	50	50	50	50	50

N.d : not detectable at level of 1 ml.

يزداد معدل إنتاج الهيدروجين أوميًا (وفقًا لقانون أوم) مع زيادة الجهد في مياه البحر الطبيعية والصناعية. ومع ذلك، فإن معدل الزيادة عند قيم جهد منخفضة، مثلاً من 5 إلى 15 فولت، يكون بطيئًا نسبيًا، نظرًا لاعتماد معدل الإنتاج على كثافة التيار. عند الجهد العالي (15 فولت فأكثر)، لا تؤثر الموصلية الابتدائية على كثافة التيار، ويتصرف المحلول كمقاومة، بينما تنخفض المقاومة عند ارتفاع نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، وبالتالي، فإن زيادة مستوى الملوحة تؤدي إلى زيادة متناسبة في إنتاجية الهيدروجين، كما يتضح من النتيجة في الجدولين (3) و (4). يُعد التحليل الكهربائي إحدى الطرق المُعترف بها لإنتاج المواد الكيميائية من حالتها الطبيعية. وينطبق هذا على إنتاج الهيدروجين من الماء.

ويُستخدم الماء المالح (وخاصةً مياه البحر) كمادة خام لإنتاج الهيدروجين بالتحليل الكهربائي. كشفت الدراسة أن إنتاج الهيدروجين يزداد تدريجيًا مع الجهد المطبق، كما هو موضح في الجداول (3و 4 و 5). المحلول الملحي هو محلول من كلوريد الصوديوم (NaCl) والماء (H2O). تتضمن عملية التحليل الكهربائي استخدام تيار كهربائي لإحداث تغيير كيميائي وإنتاج مواد كيميائية جديدة. يُعد التحليل الكهربائي للمحلول الملحي عملية واسعة النطاق تُستخدم لتصنيع الكلور من الملح. يتم الحصول على مادتين كيميائيتين مفيدتين أخريين خلال العملية، وهما هيدروكسيد الصوديوم (NaCl) والهيدروجين (2H). ربما يعود سبب استغراق الماء وقتًا طويلاً للتحلل إلى قوة الروابط بين الهيدروجين والأكسجين، مما يتطلب طاقة كبيرة لفصلهما (ومن هنا جاء طول الوقت). ولأن الماء جزيء تساهمي قطبي، فإن ذرات الهيدروجين تحمل شحنات موجبة جزئية، بينما تحمل ذرات الأكسجين شحنة سالبة جزئية. نستنتج أن التركيز الكهربائي العالي (أعلى من 15 فولت) ليس مفيدًا لإنتاج الهيدروجين لفترة طويلة دون تدمير قطب الجرافيت. وكشفت الدراسة أن إنتاج الهيدروجين يزداد تدريجيا مع زيادة في الجهد. قد يكون ذلك بسبب كمية التيار المار، والتي تعتمد على توصيل الأقطاب الكهربائية وتركيز الإلكتروليت. من منظور آخر، ترجع زيادة انطلاق الهيدروجين في التركيز الإلكتروليتي المتزايد إلى عدد أكبر من الاصطدامات الأيونية الفعالة لكل وحدة زمنية. يؤثر حمض الهيدروكلوريك على الكربون السطحي لمادة الجرافيت ويؤدي إلى تحول المحلول الكهربائي إلى ملاط أسود.

التوصيات:

1. السعي لإمتلاك هذا النوع من الوقود (الهيدروجين الاخضر) كوننا نمتلك أهم مصادر الإنتاج وهي مياه البحر الابيض المتوسط من خلال تقنيات التحليل الكهروكيميائي لمياه البحر المتوفرة بمحطات التحلية على طول الساحل الليبي.
2. ضرورة تبني الدولة وأصحاب القرار في ليبيا تنفيذ مشروعات واعدة ومتطورة تدعم محطات تحلية مياه البحر العاملة في ليبيا، وذلك لاستغلال غاز الهيدروجين المنتج خلال مرحلة التحليل الكهروكيميائي. وهذا سوف يوفر الجهد والوقت لإيجاد مصادر طاقة بديلة يكون الوقود الأخضر (الهيدروجين) واحداً منها. يسهم في تنويع مصادر الدخل الوطني في ليبيا.
3. تشجيع الباحثين والعلماء في الجامعات الليبية والمؤسسات التعليمية والمركز البحثية ذات الصلة بالطاقات المتجددة لإيجاد مصادر للطاقة يكون الوقود الأخضر فيها خيارًا واعدًا كمصدر آمن ومستدام للطاقة البديلة من البحر.
4. التشجيع على إنتاج واستخدام الهيدروجين الأخضر كطاقة واعدة في المستقبل.

المراجع:

AFHYPAC - IFPEN. (2011). *Production d'hydrogène à partir des procédés de reformage et d'oxydation partielle, mémento de l'hydrogène* (Fiche 3.1.1).

AFHYPAC - IFPEN. (2019). *Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, mémento de l'hydrogène* (Fiche 3.2.1).

Bailleux, C., & Clément, P. (1989). *L'hydrogène révolutionnaire*. Direction des Études et Recherches, Électricité de France (EDF).

CEA. (2004). *Le soleil de l'étoile à l'énergie domestique*. Commissariat à l'Énergie Atomique.

Hidrogeno y pilas de combustible. (2004). Universidad Complutense de Madrid. http://www.ucm.es/info/fisatom/docencia/masterfisica/aplicaciones/hidrogeno%20y%20pilas%20de%20combustible.ppt

Imperiyka, M. H., Rahuma, M. N., & Iman, E. A. (2017). Hydrogen production using Mediterranean sea water of Benghazi shore and synthetic sea water electrolysis. *Academic Journal of Chemistry, 2*(1), 8–15.

Khemais, M. B. M. (2018). *Etude de la nature d'eau d'El Oued sur l'électrolyse* [Master's thesis]. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.

Oualid, M. (2009). *Production de l'hydrogène à partir des énergies renouvelables* [Master's thesis]. Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.

Saadi, O., Fares, A., & Alhendawi, R. A. M. (2008). *Introduction to natural resources in the world with particular reference to Africa*. Omar Al-Mukhtar University.

Sahli, M. (2010). *Etude de la production d'hydrogène par électrolyse et pile à combustible* [Master's thesis]. Université Mentouri de Constantine.

Sidem. (2002). *Operation manual for the chlorine plant* (Vol. 1). Sidem Company.

Yepez-Madrigal, A. J., Sosa-Villalobos, C. A., & Domínguez-Sánchez, G. (2024). Production of hydrogen through seawater electrolysis using an experimental prototype. *Rasayan Journal of Chemistry, 17*(2), 466–471.

Yuvaraj, A. L., & Santhanaraj, D. (2013). A systematic study on electrolytic production of hydrogen gas by using graphite as electrode. *Materials Research, 17*(1), 83–87.

Zeng, K., & Zhang, D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science, 36*(3), 307–326.

Zhang, W., Wei, Y., Li, J., & Xiao, H. (2024). Harvesting energy from marine: Seawater electrolysis for hydrogen production. *Fuel, 377*(1), 132782.

Electrochemical comparison of hydrogen gas production from seawater with other water sources: a case study from the seawater desalination plant in Tobruk, Libya

Sasi Magdy Askar[1], Mohamed Riziq Abubakar[2], Imperika Mohamed Saleh[3], Galal M. Elmanfi [4] and Ramadan A. Alhendawi [1]

[1.] Department of Natural Resources, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Omar Al-Mukhtar University - Al-Bayda – Libya

[2.] General Company for Seawater Desalination – Seawater Desalination Plant, Tobruk, Libya

[3.] Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, University of Kufra, Libya

[4] Department of Chemistry, Faculty of Science, Omar Al-Mukhtar University, Al-Bayda, Libya

Abstract

This study aimed to evaluate the production of hydrogen gas via the electrochemical analysis of seawater and various types of water using multiple electrodes, including graphite and platinum electrodes, within a Hoffman cell system and using different electrical voltages (5, 10, 15, 20, 25, and 30 V) at a constant current of 1 A (Ampere) for two hours. Although, hydrogen production readings were recorded from the electrolyzer at the seawater desalination plant in Tobruk, Libya, during the chlorine production phase.

Several analytical tools and techniques were used to measure the chemical and physical properties of the solutions under study. The aim was to study the effect of the concentration of some aqueous solutions on the volume of hydrogen gas produced. The results showed that the volume of hydrogen gas production generally increases with increasing electrical voltage. The highest volume of hydrogen production was recorded using the electrochemical analysis technique, reaching 50.6 ml in 55 minutes at an electrical voltage of 15 volts in seawater, compared to other aqueous solutions added to distilled water (DW) individually at a concentration of (0.05 M), namely sodium chloride (NaCl), potassium hydroxide (KOH), and hydrochloric acid (HCl). This indicates that the high ionic conductivity of seawater reflects a high hydrogen production. In addition, a comparison of the hydrogen production rate between laboratory electrochemical analysis and the chlorine production process at the Tobruk desalination plant showed that the amount of hydrogen produced increases with increasing both the current (amperes) and electrical voltage (volts) in both systems in seawater. In conclusion, the results of this study demonstrate that seawater represents an economical and effective source for producing hydrogen gas, making it a promising option as a safe and sustainable alternative energy source that contributes to diversifying sources of income and supporting economic development in Libya.

Keywords: Electrochemical analysis; hydrogen production; applied potential; desalination plant; Hoffman cell.