الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية العلوم التطبيقية

قسم هندسة الطرائق

مذكرة تخرج

ماستر أكاديمي

ميدان : علوم وتكنولوجيا

شعبة: صناعات بتروكيمياوية

تخصص : هندسة بتروكيمياوية

من إعـــــداد الطلبة:

خديجه بوخبزه

دعاء الشاوش

الموضوع:

المساهمة في إنتاج الهيدروجين المتجدد في القطاع الصناعي

نوقشت يوم:2023/06/15

أمام اللجنة المناقشة:

السيد/ زروقي جمال	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ تعليم عالي	رئيسا
السيدة/ شعيب هجيرة	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ مساعد أ	مناقشا
السيد/ رحماني عبد اللطيف	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر ب	مشرفا

السنة الجامعية 2022/2023

الإهـــــداء

إذا كان أول الطريق ألم فإن آخره تحقيق حلم، ولكل بداية نهاية وهاهي السنوات قد مرت والحلم يتحقق، فاللهم لك الحمد حتى ترضى ولك الحمد اذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا، نحمدالله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضله تعالى.

اهدي هذا العمل إلى من قال فيهما الرحمان اخفض لهما جناح الذل من الرحمة:

من أنارت دربي وأعانتني، إلى أحن ماخلق الله في هذا الوجود"أمي الحبيبة" أدامها الله لي.

إلى صاحب الفضل الكثير الذي عمل بكد ولم يبخل بشئ من اجل دفعي في طريق النجاح الذي علمني وأوصلني إلى ما أنا عليه "أبي الكريم" أدامه الله لي .

إلى أختي وإخوتي الكرام حفظهم الله، وإلى كل العائلة الكريمة كبيرا وصغيرا..

إلى كافة اصدقائي وزملائي الدراسة وفقكم الله.

إلى كل من كان لهم أثر على حياتي ونصحوني ووجهوني.

وكل من ساهم في إتمام هذا العمل جزاكم الله كل الخير.

خديجه

الإهـــــداء

إلى الإنسانة الراقية التي طالما كانت دافعا قويا لما أنا عليه، الروح التي أستمد منها عزيمتي وأحن ما في العالم "أمي العزيزة"

إلى سندي في الحياة ومصدر قوتي وإرادتي، الذي طالما حملني على كفوف الراحة وكانت كلماته مصدر إلهام لي "أبي العزيز"

إلى أمي الثانية الحنون بلسم الجروح أدام الله صحتها وعافيتها، و وفقها لما تبتغيه.

للروح التي طالما أحن إليها فيكون إليها مرجعي وسكينتي إلى تمام روحي و رفيقي إلى الجنة إن شاء الله

"زوجي روح قلبي"

إلى إخوتي وأخواتي دواء قلبي، كل بإسمه وفقكم الله إلى أعلى المراتب ، بناتي العزيزات بنات أختي سارة وإسراء حفظهما الله ورعاهما.

إلى كل من تعز روحهم على قلبي وكياني إلى كل من دعمني في مشواري ولو بكلمة طيبة وقع أثرها بقلبي.

شكرا من القلب

دعاء

شكروتقدير

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:

(من لم يشكر الناس لا يشكر الله ومن أهدي إليكم معروفا فكافئوه

فإن لم تسطيعوا فادعوا له)

الحمدلله الذي بنعمته تتم الصالحات والصلاة والسلام على رسوله الكريم ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين، بداية نشكر رب العباد العلي القدير شكرا جزيلا طيبا مباركا فيه الذي أنارنا بالعلم وزيننا بالحلم وأكرمنا بالتقوى، وأنعم علينا بالعافية وأنار طريقنا ويسرنا في إتمام هذه الدراسة وتقديمها على الشكل الذي هي عليه اليوم، فله الحمد والشكر وهوالرحمان المستعان.

نشكر أعضاء لجنة المناقشة كل واحد بإسمه و مقامه "البرفيسور زروقي جمال" و "الدكتورة شعيب هجيرة" على قبولهم أن يكونو في هذه اللجنة.
إن واجب الوفاء والإخلاص يدعونا أن نتقدم بالشكر الجزيل لكل من ساعدنا في هذا العمل ونخص بالذكر:

الأستاذ المشرف "الدكتوررحماني عبد اللطيف" الذي لنا الشرف الكبيرأن نكون تحت إشرافه، لما بذله معنا من وقت وجهد وصبر خلال إشرافه علينا لإعداد هذه المذكرة جعلها الله في ميزان حسناته بحيث لم يبخل علينا بنصائحه القيمة ومعلوماته، أعانه الله في كل درب يسلكه فقد كان نعم الأستاذ ونعم المشرف. والشكر موصول أيضا الى البروفيسور زروقي جمال مدير مخبر البحث الذي فتح لنا أبواب المخبر لإجراء التجارب

وكما لايفوتنا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من ساهم في إنجاز هذا العمل من قريب أو بعيد وإلى كل يد كريمة أمدتنا بالعون ولكل من رفع من معنوياتنا و لم يبخل علينا بالنصيحة والتوجيه والدعاء نسأل الله أن يجزيهم خير الجزاء.

إلى كل هؤلاء نقول لهم شكرا جزيلا.

بوخبزه خديجه

الشاوش دعاء

الملخص:

تهدف هذه الدراسة الى المساهمة في إنتاج الهيدروجين المتجدد والتقليل من تكلفة إنتاجه بإستعمال التحليل الكهربائي للمياه التالية (ماء البحر وماء الصرف الصحي المعالج من محطة تنقية المياه المستعملة سعيد عتبة ورقلة وماء الصناعة البترولية الخام). قمنا بإجراء تركيب تجريبي يتمثل في ربط المحلل الكهربائي للماء بخلية كهروضوئية، واختبار خمسة أقطاب كهربائية (Fe, C, Cu, Zn, Al) .من خلال هذه الدراسة تم التوصل أن أفضل الأقطاب هي أقطاب الألمنيومAl، ومن بين المياه الأعلى إنتاجا للهيدروجين هي ماء الصناعة البترولية الخام، وخاصة عند إضافة الماء الأكسجيني ، وأحسن مياه في كل التجاب كانت مياه الصرف الصحي المعالج عند إضافة$KMnO_4$.

الكلمات المفتاحية: الهيدروجين المتجدد، التحليل الكهربائي للماء، الألواح الكهروضوئية، المحلل الكهربائي.

Résumé:

Cette étude expérimentale vise à réduire les coûts de production de l'hydrogène renouvelable en utilisant électrolyse de l'eau (eau de mer, eaux usées traitées de la station d'épuration des eaux usées de Said Attaba Ouargla et eau industrielle pétrolière). nous avons réalisé une installation expérimentale consistant à relier d'électrolyseur l'eau à une panneau photovoltaïque et à tester cinq électrodes (Al, Zn, Cu, C, Fe). Cette étude a conclu que les meilleures électrodes sont celles en aluminium (Al) et que l'eau industrielle pétrolière est la plus productive en hydrogène, notamment lorsqu'on y ajoute de l'eau oxygénée (H_2O_2). Les eaux usées traitées étaient les meilleures lorsqu'on y ajoutait du permanganate de potassium ($KMnO_4$).

Mots-clés: hydrogène renouvelable, Électrolyse de l'eau, Les panneaux photovoltaïques, Électrolyseur.

Abstract:

The aim of this experimental study, which involves experimental research, is to reduce the cost of renewable hydrogen production using electrolysis of water (seawater, treated waste water from the Said Attaba Ouargla wastewater treatment plant, and industrial petroleum water). we conducted an experimental setup that involved connecting the electrolysis of water to a photoelectric cell and testing five electrical electrodes (Al, Zn, Cu, C, Fe). Through this study, it was determined that the best electrodes are aluminum (Al), and among them the water with the highest hydrogen production was observed in industrial petroleum water, especially when oxygen is added. The most favorable water source in all experiments was the treated waste water with the addition of $KMnO_4$.

Key words: renewable hydrogen, electrolysis of water, photovoltaic panels, Electrolyzer.

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	ص
الجدول I. 1	أهم الخصائص الكيميائية والفيزيائية	4
الجدول I.2	أنواع الهيدروجين حسب المادة الخام ومصدر الطاقة المستدامة في الإنتاج.	6
الجدول1.III	الأدوات والمواد المستعملة .	17
الجدول2.III	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمؤكسدات .	17
الجدول3.III	خصائص ماء الصرف الصحي المعالج.	19

قائمة الأشكال

الشكل	العنوان	ص
الشكل1.II	آلية عمل خلية التحليل الكهربائي للماء.	11
الشكل1.III	المصادر الرئيسية لإنتاج الهيدروجين.	16
الشكل2.III	شكل توضيحي للتحليل الكهربائي المزود بلوح كهروضوئي.	18
الشكل3.III	التركيب التجريبي.	19
الشكل4.III	تأثير الأقطاب الكهربائية على حجم إنتاج الهيدروجين.	20
الشكل5.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصرف الصحي المعالج مع أقطاب C بدلالة الزمن.	21
الشكل6.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصرف الصحي المعالج مع أقطاب Al بدلالة الزمن.	21
الشكل7.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء البحر مع اقطاب C بدلالة الزمن.	22
الشكل8.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء البحر مع أقطاب Al بدلالة الزمن.	22
الشكل9.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصناعة البترولية مع أقطاب C بدلالة الزمن.	23

الشكل10.III	يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصناعة البترولية مع أقطاب Al بدلالة الزمن.	23
الشكل11.III	يمثل حجم الهيدروجين وثلاثة انواع مختلفة من المياه مقارنة في أقطاب C بدلالة الزمن.	24
الشكل12.III	يمثل حجم الهيدروجين وثلاثة انواع مختلفة من المياه مقارنة في الأقطاب Al بدلالة الزمن.	24
الشكل13.III	يمثل حجم الهيدروجين مقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطاب C بدلالة الزمن بإضافة $KMno_4$.	25
الشكل14.III	يمثل حجم الهيدروجين مقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطاب Al بدلالة الزمن بإضافة $KMno_4$.	26
الشكل15.III	يمثل حجم الهيدروجين مقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطاب C بدلالة الزمن بإضافة H_2O_2.	26
الشكل16.III	يمثل حجم الهيدروجين مقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطاب Al بدلالة الزمن بإضافة H_2O_2.	27

قائمة الاختصارات

الاختصار	التوضيح	ص
SMR	تقنية إعادة تشكيل الميثان بالبخار.	4
CCUS	تقنية التقاط الكربون لإستخدامه وتخزينه.	4

الفهرس

الإهـــــداء I
شكروتقدير II
الملخص III
قائمة الجداول IV
قائمة الأشكال IV
قائمة الاختصارات V
مقدمة عامة 1
الفصل الأول: الهيدروجين كحامل للطاقة 2
I.1- مقدمة 3
I.2- تعريف الهيدروجين 3
I.3- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهيدروجين 3
I.4- أنواع الهيدروجين 4
I.5- طرق تخزين الهيدروجين 6
I.6- طرق نقل الهيدروجين 6
I.7- استعمالات الهيدروجين في مختلف القطاعات 7
1. الاستخدامات الصناعية للهيدروجين 7
2. استخدام الهيدروجين للنقل 7
3. استخدام الهيدروجين لتوليد الحرارة (التدفئة) 7
I.8- مزايا وعيوب الهيدروجين 8
I.9- الخاتمة 8
الفصل الثاني: طرق إنتاج الهيدروجين 9
II.1- مقدمة 10
II.2- طرق إنتاج الهيدروجين 10
II.2-1- إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري 10
II.2- 2- إنتاج الهيدروجين من مصادر متجددة 10
II.2-2-1- إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء 10
II.2-2-2- الطاقة الشمسية 12
II.2-2-2-1- الخلية الشمسية 12
II.2- 2-3- طاقة الرياح 12
II.3- أهمية الطاقة المتجددة ومميزاتها 13

II.4- دور الهيدروجين المتجدد 13
II.5- قدرة الجزائر على إنتاج الهيدروجين المتجدد 13
II.6- الخاتمة 14
الفصل الثالث: الدراسة تجريبيـــة 15
III .1- مقدمة 16
III.2- الهدف من الدراسة 16
III.3- الأدوات والمواد المستعملة 17
III.4- التحليل الكهربائي 18
III.5- الإجراءات التجريبية 19
III.5-1-التجربة الأولى 19
III.5-2-التجربة الثانية 19
III.5-3- التجربة الثالثة 19
III.6- المقادير المقاسة 20
III.7- النتائج والمناقشات 20
III.8- الخاتمة 27
الخاتمة العامة 29
قائمة المراجع 31

مقدمة عامة

تتوقع زيادة الطلب العالمي على الطاقة الأولية بمعدل 1.3٪ سنويًا حتى عام 2040، وذلك نتيجة زيادة الطلب العالمي على الطاقة بسبب النمو الاقتصادي وزيادة عدد السكان والتقدم التكنولوجي، يتوقع أن يستمر إنتاج الطاقة من مصادرها المتنوعة على نطاق واسع وأن يظل الوقود الأحفوري هو المصدر الرئيسي للطاقة حتى عام 2050 على الأقل. ومع ذلك، فإن استخدام الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة أو المواد الكيميائية يسبب انبعاث الغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات أخرى وجسيمات صلبة في الغلاف الجوي، مما يساهم في تغير المناخ العالمي.[1]

أصبح البحث عن بديل للوقود التقليدي (النفط) أمرا ضروريا بالنسبة للدول الصناعية المتقدمة، خاصة بعد الإرتفاع الملحوظ في أسعار الوقود على مستوى العالم إذ يتعين البحث عن مصادر طاقة بديلة للحصول على مصادر طاقة مستدامة. [2]

تم تحديد الهيدروجين كحل عالمي مقترح للتصدي لإنبعاثات الكربون وتحقيق الحياد الكربوني الصفري بحلول عام 2050، وذلك من خلال الاعتبارات المطروحة في عام 2020. يعتبر الهيدروجين مصدرا بارزا للطاقة، حيث يتمتع بفاعلية في توفير الوقود والمساهمة في عمليات تحويل ونقل الطاقة وتخزينها. وبالتالي، يشكل الهيدروجين أحد العناصر الأساسية للاقتصاد الدائري للكربون، ويعزز بشكل كبير التحول نحو أنواع الوقود النظيفة والمستدامة بشكل أسرع.[3]

الهيدروجين يتمتع بمجموعة من الخصائص الهامة التي تؤهله ليكون وقود المستقبل، حيث يعتبر وقودا نظيفا وآمنا بيئيا. وبالإضافة إلى ذلك ، فإنه لا ينتج غازات ضارة عند احتراقه ويتمتع بكفاءة طاقية عالية. لذلك، يعد الهيدروجين من مصادر الطاقة المميزة كوقود أو كحامل للطاقة في خلايا الوقود، حيث يمكن استخدامه بشكل مباشر أو مختلط مع الغاز الطبيعي بتركيزات محددة. يعتبر الهيدروجين مصدرا متجددا للطاقة ويمكن الحصول عليه من مصادر متعددة وبواسطة طرق مختلفة، مثل التحليل الكهربائي للماء الذي يقوم بفصل الروابط الكيميائية بين الأكسجين والهيدروجين في الماء. ومع ذلك، تعتبر هذه الطريقة مكلفة بسبب استهلاكها لكميات كبيرة من الطاقة الكهربائية فمن أجل تخفيض تكلفة الطاقة المنتجة عن طريق التحليل الكهربائي للماء والإستفادة من الطاقة الشمسية، تم تطوير تقنية تتيح إنتاج الهيدروجين من الماء باستخدام الطاقة الشمسية أو بمصادر طاقة متجددة أخرى وتعد هذه الطريقة خيارا إقتصاديا وبيئيا واعدا.[2]

ويشمل هذا البحث أربعة فصول :

الفصل الأول: يحتوي على معلومات عامة حول الهيدروجين، خصائصه وأنواعه وكيفية تخزين الهيدروجين ونقله واستعمالاته.

الفصل الثاني: يحتوى على طرق إنتاج الهيدروجين وخاصة بطريقة التحليل الكهربائي للماء ودور الهيدروجين المتجدد وقدرة الجزائر على إنتاج الهيدروجين الأخضر.

الفصل الأخير: يتعلق بالدراسة التجريبية لإنتاج الهيدروجين.

الفصل الأول

الـهيدروجين كحامل للطاقة

1.I- مقدمة:

الهيدروجين هومصـــدر الطاقة الأكثر ترشـيحا لأن يضـــع حدا لإعتماد العالم على النفط، ثم إنه سيحد بدرجة كبيرة من انبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتج عن السيارات، في الوقت نفسه يخفف من ارتفاع درجات حرارة الأرض عالميا. وقد تم التعرف عليه أول مرة كمادة منفصلة تماما في عام 1766من طرف "هنري كافيندش" من خلال تفاعلات الزئبق مع الأحماض، وقد أعطى "أنطوان لا فوازيه "هذا الاسم للهيدروجين، كما أنه هومن أثبت أن الماء يتكون من هيدروجين وأكسجين، وكان المنطاد من أول اســـتخدامات الهيدروجين كغاز.[4]

فهو العنصـــر الأخف وزنا والأكثر توافرا في الكون، حيث يطلق عليه العلماء تســـمية الطاقة المســـتدامة لكونه عنصـــرا غير قابل للنفاذ، إضـــافة إلى أن المواد التي يخلفها اســـتخدام الهيدروجين لإنتاج الطاقة هي المـاء والحرارة لا أكثر، ومن المتوقع لطاقة الهيدروجين حين يبدأ العمل بها فعليا أن تحدث تحولا دراماتيكيا في الاقتصـــاد العالمي ككل، لا يقل ســـرعة ولا تأثيرا عن ذلك التأثير الذي أحدثته محركات الاحتراق الداخلي والمحركات التي تعمل بوقود النفط في القرن العشرين[4].

حيث يمكن استخدامه كبديل للوقود الأحفوري غير المتجدد ويمكن تخزينه ونقله بسهولة ولا ينتج عنه انبعاثات ضارة للبيئة. وهذا يجعل الهيدروجين اختيارا مثاليا للبحث عن بدائل للوقود الأحفوري، التي تساعد على الحفاظ على البيئة وتوفير الموارد الطبيعية. ومن أبرز المركبات التي يتواجد فيها الهيدروجين هوالماء (H_2O) الذي يغطي نحو ثلاثة أرباع مساحة الكرة الأرضية، كما يختزن في جوفها متحدا مع الكربون مكونا النفط والغاز الطبيعي، وقد يكون ممتصا على شكل هيدريدات بواسطة بعض المعادن كالليثيوم والتيتانيوم.....إلخ، وبما أن الهيدروجين غيرمتوافربشكل حرفي الطبيعة لذلك لا يعتبر مصدرا رئيسيا للطاقة بل حاملا طاقويا تماما مثل الكهرباء.[5]

2.I- تعريف الهيدروجين:

الهيدروجين هوغاز عديم اللون والرائحة في ظروف الحرارة العادية والضـــغط القياســـية، ســـريع الاشتعال وهوأخف الغازات وأكثرها تواجدا في الطبيعة، بحيث يوجد في الماء بدرجة كبيرة والهيدروجين الحرمتواجد في الجو الشـــمســـي وفي الغازات البركانية، في الجو الأرضي بمقدارجزء من مليون (نسبة حجميه)، سرعته الجزيئية عند درجات الحرارة العادية عالية جدا مما يسمح له بالخروج من مجال الجاذبية الأرضية و يوجد بمقدار0.9%من القشرة الأرضية. [4]

يعتبرالهيدروجين العنصرالأكثرانتشارا في الكون إذ يمثل 75% من كتلة الكون و90%من الجزيئات التي تكونه، و يندر تواجد الهيدروجين في شكل عنصرنقي في الطبيعة بل يوجد على شكل مركبات متحدة فيها مع معادن وعناصرأخرى يزيد عددها عن 92 عنصر.[5]

3.I- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهيدروجين:

الهيدروجين هوعنصر كيميائي يرمزله بالرمزH، يتصدر قائمة العناصر الكيميائية في الجدول الدوري للعناصرفهو عنصر قلوي، لذلك تعد ذرة الهيدروجين أخف ذرة في العناصرالكيميائية حيث تحتوي على إلكترون واحد سالب الشحنة وبروتون واحد موجب الشحنة، وهذا يجعله عنصرا مهما في الصناعات الكيميائية يمكن للهيدروجين أن يتفاعل مع العناصر الأخرى مثل الأكسجين والهالوجينات والهاليدات والنيتروجين و الكلوروالفلوروالكبريت والفوسفور.[6]

كما يتكون الهيدروجين من ثلاثة نظائر، معظمها من البروتيوم (^1H) (pretium) الذي يمثل نسبة 99.98% وتصل نسبة الديتريوم D(deutérium) أو^2H إلى حوالي 0.02% ويتواجد التريتيوم ^3H (tritium) بكميات صغيرة للغاية في الطبيعة.[7]

وبالرغم من أن للهيدروجين مجال واسع للاشتعال في الهواء فإن الخطورة في اشتعاله تلقائيا أو انفجاره محدودتين، وهذا يرجع إلى قدرته الكبيرة في الانتشار بسرعة الهواء، فالهيدروجين يتسرب دائما في الهواء ويصعد إلى الأعلى ويتقلص تركيزه بسرعة كبيرة، ونظرا لصغر حجم جزيء الهيدروجين فإنه يمتاز بقدرة عالية في النفاذ من خلال الأغشية والمواد المسامية، وهذه الخاصية تزيد من تكلفة نقله وتخزينه خاصة عند استعماله كوقود لوسائل النقل. [4]

جدول1.I: أهم الخصائص الكيميائية والفيزيائية: [8] [17]

الخصائص	القيم
الوزن الجزيئي	2.01594g/mol
كثافة الغاز عند 0°C و1atm	0.08987 kg/m^3
درجة حرارة الاشتعال ذاتي في الهواء	858°K
سرعة الاشتعال في الهواء	260 cm/s
الكتلة الحجمية	0.08kg/m^3
درجة حرارة اللهب	2045°C

4.I- أنواع الهيدروجين:

يمكن إنتاج الهيدروجين من مختلف المواد الأولية المتجددة وغير المتجددة مع انبعاث الغازات الدفينة إعتمادا على مواد الخام و طرق الإنتاج يمكن تصنيف الهيدروجين كما يلي:

1. **الهيدروجين الأسود:** يستخدم الفحم في إنتاج هذا النوع من الهيدروجين وذلك من خلال تغويزه أي تحويله إلى غازومن ثم يمكن استخدام الغاز المنتج من الفحم في عملية الإنتاج، وأحيانا يُطلَق عليه "البني". [10]
2. **الهيدروجين الرمادي**: ينتج باستخدام الغاز الطبيعي، وتكون عملية الإنتاج الرئيسية هي إعادة تشكيل الميثان بالبخار (SMR) التي تستهلك أوكسجين من بخار الماء في حجرة حرارية لفصل الميثان (CH_4) وإنتاج الهيدروجين، لكن هذه العملية تتسبب بقدر هائل من التلوث لأنها تنتج ما يعادل 9kg من ثاني أكسيد الكربون(CO_2) لكل 1kg هيدروجين يتم إنتاجه ويساهم بشكل كبيرفي ظاهرة الاحتباس الحراري.[9]
3. **الهيدروجين الأزرق:** يمكن إنتاج الهيدروجين الأزرق بالفحم أو الغاز، ويحتاج لنفس عملية صنع الهيدروجين الرمادي لكن الكربون الناتج عن العملية يتم جمعه باستخدام عملية "CCUS" للتقليل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يشير الاتحاد الأوروبي لهذا النوع من الهيدروجين بأنه هيدروجين ناتج عن الوقود الأحفوري مع جمع الكربون.[9]
4. **الهيدروجين الأصفر:** يمكن إنتاج الهيدروجين الأصفرمن الماء، لكن بدلا من استخدام الطاقة المتجددة تستخدم الطاقة النووية وأحيانًا يطلق عليه اسم"الوردي". [10]

يتم صنعه عن طريق التحليل الكهربائي للطاقة الكهربائية ذات الأصل المختلط التي يمكن أن تكون ناتجة عن الطاقة النووية أومن النفايات إلى هيدروجين أومن تحويل النفايات إلى غاز.[9]

5. **الهيدروجين الفيروزي:** ينتج من الغاز الطبيعي أو الكتل الحيوية كمدخلات للطاقة عبر الانحلال الحراري لإنتاج الهيدروجين في عملية ماصة للحرارة بينما يتم الحصول على الكربون الصلب كمنتج ثانوي. في حين أن الانحلال الحراري للكتلة الحيوية هو عملية ضارة نسبيا من وجهة نظر بيئية، إلا أنها يمكن أن تكون مثيرة للاهتمام بشرط أن تأتي الطاقة من مصادر متجددة.[10]
6. **الهيدروجين الأخضر:** مع تجنب استخدام الوقود الأحفوري يمكن استخدام المياه التي تحتوي على الهيدروجين والأكسجين، ففي حال إجراء عملية تحليل كهربائي للماء ينفصل الماء إلى جزيء أكسجين وجزيء هيدروجين، في هذه الحالة يتكون الهيدروجين الأخضر بالإشارة إلى أن مصدر الطاقة من المصادر المتجددة فإن الأمور بدأت تختلف في الأوقات الأخيرة؛ بسبب انتشار الطاقة الشمسية و طاقة الرياح بكثرة خاصة في الدول الصناعية التي تنتج الكهرباء في أوقات يكون فيها الطلب ضعيفًا ومن ثم يمكن استخدام هذه الطاقة المبددة في الحصول على الهيدروجين.[10]
7. ويوجد أيضا **الهيدروجين الأبيض:** وهو الهيدروجين الموجود بشكل حر في طبقات الأرض ويتطلب الحفر تمامًا مثل عمليات حفر آبار النفط والتكسير المائي للوصول إليه فرغم وفرته فإنه ليست هناك أي مشروعات في الوقت الحالي لاستخراجه خاصة أن عملية الاستخراج تتطلب طاقة، وهذه الطاقة ستخلف بالطبع انبعاثات كربونية وبعبارة أخرى فإنه يفتقر في الوقت الحالي لمشروعات استخراج تفي بالمتطلبات البيئية.[10]

جدولI.2: أنواع الهيدروجين حسب المادة الخام ومصدرالطاقة المستدامة في الإنتاج. [10]

النوع	المادة الخام/ مصدر الطاقة	وصف العملية	الآثر البيئي
الهيدروجين الرمادي	الغازالطبيعي/ الطاقة الحرارية	فصل الهيدروجين عن الميثان باستخدام عملية الإصلاح البخاري	تطلق 10Kg ثاني أكسيد الكربون/1kg هيدروجين
الهيدروجين الأسود	الفحم/ الطاقة الحرارية	تغويز الفحم عبر تسخينه مع الأكسجين وبخار الماء أو بكمية محدودة من الأكسجين إلى درجات حرارة وضغوط مرتفعة لإنتاج الغازالصناعي	تطلق 19kg ثاني أكسيد كربون /1kg هيدروجين
الهيدروجين الأزرق	الغاز الطبيعي أوالفحم/الطاقة الحرارية	نفس عملية إنتاج الهيدروجين الرمادي /الأسود مع تطبيق تقنية احتجاز و تخزين الكربون للانبعاثات المصاحبة	أثر بيئي أقل حيث تقلل الانبعاثات حتى 90%
الهيدروجين الأخضر	الماء/مصادر الطاقة المتجددة كالرياح أو الطاقة الشمسية	التحليل الكهربائي للماء بإستخدام كهرباء مولدة من مصادر الطاقات المتجددة.	صديقة للبيئة
الهيدروجين الأصفر	الماء/ الطاقة النووية	التحليل الكهربائي للماء بإستخدام كهرباء مولدة من محطات الطاقة النووية	صديقة للبيئة
الهيدروجين الفيروزي	الغاز الطبيعي أوالكتلة الحيوية	التحلل الحراري للغاز الطبيعي أو الكتلة الحيوية في غياب الأكسجين	ينتج الكربون الصلب في حالة الاستخدام

5.I- طرق تخزين الهيدروجين:

توجد ثلاث تقنيات رئيسية لتخزين الهيدروجين، والتقنية التقليدية الأكثرشيوعا هي التخزين عند ضغط عالي والتخزين السائل عند درجات حرارة منخفضة (أي التخزين الغازي والسائل). التقنية الأكثر تقدمًا هي تخزين الهيدروجين في المواد الصلبة (التخزين الصلب).[11]

6.I- طرق نقل الهيدروجين:

الهيدروجين الغازي عادة ما يتم نقله إما عن طريق المقطورات الأنبوبية وخطوط الأنابيب بينما يتم نقل الهيدروجين السائل بواسطة ناقلات الطرق. لفترة قصيرة بمسافات قصيرة وكميات صغيرة، أما عند التوصيل الغازي عادة ما يكون نقل الهيدروجين

عن طريق مقطورات الأنابيب هو الخيار المفضل للكميات المتوسطة والطويلة، صهاريج السوائل من المحتمل أن تكون مفضلة، في حين أن الكميات الكبيرة على المدى الطويل عادة ما يتم نقلها بواسطة خطوط الأنابيب، إذا كانت متوفرة.[11]

I.7- استعمالات الهيدروجين في مختلف القطاعات:

يمكن استخدام الهيدروجين كناقل للطاقة المستدامة في الصناعة والتدفئة والتنقل وقطاع الطاقة الكهربائية. ومع ذلك، فإن الأسعار الحالية لمعدات إنتاج وتخزين وتوزيع الهيدروجين لا تزال مرتفعة وبالتالي يجب تحديد المناطق التي يمكن أن يكون فيها الهيدروجين الأخضر مجديًا اقتصاديا.[12]

1. الاستخدامات الصناعية للهيدروجين:

يتم إنتاج حوالي 45 مليون طن من الهيدروجين سنويًا في أروبا، ويتم استخدام الهيدروجين في عدد كبير من القطاعات الصناعية:

- الصناعة الالكترونية : يستخدم الهيدروجين لإنتاج بلورات السيليكون أشباه الموصلات.
- وقود الهيدروجين: درجة حرارة اللهب العالية جدا "2700 درجة مئوية" التي يتم الوصول إليها مع الأكسجين تجعله يختار أقل من ذلك شكل سائل كوقود دفع للصواريخ والمركبات الفضائية.
- الصناعات الكيميائية: تتنوع استخدامات الهيدروجين بشكل كبير في هذا المجال.
  - ✓ تخليق الأمونيا: بالتفاعل مع النيتروجين لتصنيعها بشكل أساسي أسمدة، أيضا المتفجرات والمواد الملونة.
  - ✓ التكرير: الكبريت المائي للوقود لإزالة الكبريت، التكرير المائي لتحسين مواد التشحيم وإنتاج الجواهر الخاصة، تخليق الميثانول عن طريق تفاعل الغاز مع الماء لتصنيع المطاط، والمنتجات الأساسية للتخليق الكيميائي مثل حمض الأسيتيك، كلوريد الميثيل والأسترات ...
  - ✓ الكيمياء العضوية: هدرجة عدد معين من المواد لإنتاج الأصباغ ومن ناحية أخرى سلائف السلفوناميدات أو الفيتامينات.
  - ✓ الكيمياء المعدنية: إنتاج بيروكسيد الهيدروجين، استخدامات الهيدروجين في الصناعة متنوعة للغاية.[13]

2. استخدام الهيدروجين للنقل:

حيث يمكن للهيدروجين الأخضر أن يكون تماما كالوقود الأحفوري التقليدي (الديزل والبنزين وغاز البترول المسال والغاز الطبيعي) في وقود المركبات الخلوية وفي بعض مجالات الاستخدام الخاصة يمكن، لأنظمة الدفع بخلايا وقود الهيدروجين أن تكمل تدريجيا أنظمة دفع البنزين والديزل. يمنح استخدام الهيدروجين الأخضر في النقل فوائد بيئية مهمة، مثل:

- القضاء على تلوث الهواء (ثاني أكسيد الكربون، أكاسيد النيتروجين، جزيئات، ..إلخ) في المناطق الحضرية .
- الحد من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.[12]

3. استخدام الهيدروجين لتوليد الحرارة (التدفئة):

يمكن استخدام الهيدروجين الأخضر لإنتاج الحرارة ويمكن أن يحل محل الوقود الأحفوري التقليدي (الغاز الطبيعي، غاز البترول المسال، زيت التدفئة، إلخ). في حالة أنظمة التدفئة التي تستخدم غاز البترول الطبيعي أو المسال، يمكن خلط الهيدروجين الأخضر

بالغاز ويمكن استبداله بالغاز بالكامل. على الرغم من أن إضافة الهيدروجين بكمية معتدلة (تصل إلى نسبة قليلة) دون تدخلات فنية كبيرة. حيث يمكن إثبات أنه عند إضافة 25٪ حجما من الهيدروجين في شبكة الغاز الطبيعي الحالية، فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ستنخفض بنسبة 4٪ فقط (بسبب كثافة الطاقة ذات الحجم المنخفض للهيدروجين). ومع ذلك فإن السبب الرئيسي الذي يمنع استخدام الهيدروجين للتدفئة هو انخفاض سعر الطاقة الحرارية المتولدة من الوقود الأحفوري.[12]

I.8- مزايا وعيوب الهيدروجين:

المزايا:

- الميزة الرئيسة هي أن الهيدروجين ينتج حوالي 2.8 ضعف الطاقة لكل وحدة كتلة من البنزين.
- عندما يتم حرق الهيدروجين فإن الانبعاث الوحيد الذي يصنعه هو بخار الماء ولا يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون، فهي ميزة مهمة لH_2 .
- H_2هوالعنصرالأكثر وفرة في (الماء) الكون، والذي يمثل حوالي 3/4 من جميع المواد.
- تقليل الاعتماد على النفط.
- خفيف جدا أي سهل الانتشار في الماء.
- سهل النقل و الإنتاج.
- الوقود المثالي للبطاريات.[13]

العيوب:

- تشير خفته إلى كثافة طاقة حجمية أقل ملائمة للنقل والتخزين في شكل غازي مقارنة بالغاز الطبيعي.
- قابلية الاشتعال وانفجاره مع الهواء أكبر من الغاز الطبيعي.
- اللهب يكاد يكون غير مرئي.
- تكاليف الإنتاج العالية والصعوبات في تخزينه ونقله واستخدامه في المركبات والتقنيات الحالية . [13]

I.9- الخاتمة:

تطرقنا في هذا الفصل إلى الهيدروجين باعتباره حاملا للطاقة، مع ذكرالخصائص الفيزيائية والكيميائية حيث تتميز خواص الهيدروجين بكونها متعددة ومتنوعة، كونه غازا عديم اللون والرائحة والطعم، انخفاض كتلته الذرية وارتفاع قيمة الطاقة، وقدرته على التفاعل مع العديد من العناصر الأخرى، إضافة إلى قابليته للاحتراق بطريقة صديقة للبيئة. وتحديد مختلف انواع الهيدروجين، استعمالاته واستخداماته في الكثير من القطاعات خاصة في القطاع الصناعي. وفي الأخير ذكرنا مزايا الهيدروجين العديدة وبعض عيوبه.

الفصل الثاني

طرق إنتاج الهيدروجين

1.II- مقدمة:

يتم إنتاج 80% من الهيدروجين من النفط والغاز الطبيعي و15% من الفحم الحجري والباقي بطرق مختلفة أخرى مثل التحليل الكهربائي ولأن النفط والفحم مصادر ناضبة فيجب عدم الاعتماد عليها ومن الجدير بالذكر فإن تكلفة إنتاج الهيدروجين من الوقود التقليدي سواء كان النفط أو الغاز الطبيعي أو الفحم مرتفعة وتصل إلى مابين 6-14 دولار لكل 109 جول والتي تجعل هذه الطرق غير مجدية إقتصاديا مما يتطلب البحث عن طرق أخرى تعتمد على استخلاص الهيدروجين من الماء وتوجد عدة طرق لإنتاج الهيدروجين من الماء تختلف باختلاف الطاقة المستخدمة، كما أن تأثير استعماله على البيئة ضئيل جدا فحين يحترق الهيدروجين فإنه يكون الماء وبالتالي فإن حرق الهيدروجين لا يؤدي إلى فناءه بل عودته إلى صورته الأصلية، لهذه الأسباب ولكون الهيدروجين مادة أولية في الكثير من الصناعات الكيميائية فإن الجهود والبحوث تنصب في الوقت الحاضر على تحسين طرق إنتاجه وتخزينه ونقله. من أهم سلبيات طاقة الهيدروجين هي متطلبات السلامة الحذرة عند التعامل معه في مراحل إنتاجه وحفظه ونقله واستخدامه.[6]

2.II- طرق إنتاج الهيدروجين:

يمكن انتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري(الفحم والغاز الطبيعي والبترول) بعدة طرق مختلفة، ويكون ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي.[14] ويمكن أيضا إنتاج الهيدروجين بطرق متنوعة، بما في ذلك التحليل الكهربائي للماء. [16] يعد الهيدروجين مكونا أساسيا للعديد من العناصر: كالماء، النفايات العضوية وغيرها. إنتاجه ضروري دون التحلل الجزيئي، ويمكن تحقيقه وفقا لعمليات مختلفة: التحليل الكهربائي، الكيميائي الحراري، التحليل الكهروضوئي، والكيمياء الحيوية.[15]

1-2.II- إنتاج الهيدروجين من الوقود الأحفوري:

إن العمليات الرئيسية في إنتاج الهيدروجين التي تعتمد على الوقود الأحفوري هي إعادة التشكيل بالبخار، التحلل التحفيزي للغاز الطبيعي، الأكسدة الجزئية للنفط الثقيل وتغويز الفحم .[16]

2.II- 2- إنتاج الهيدروجين من مصادر متجددة:

يعتبر إنتاج الهيدروجين من مصادر متجددة خطوة مهمة نحو تطوير الاستدامة، حيث يمكن استخدام الهيدروجين كوقود بديل للوقود الأحفوري، وبالنظر إلى أن الهيدروجين يعتبر من العناصر الأكثر وفرة في الكون فإنه لا يوجد على شكله النقي في الطبيعة، بينما يمكن إنتاجه من مصادر متجددة: مثل الطاقة الشمسية، الرياح والماء. ويساعد على تحقيق الاستدامة البيئية والإقتصادية في المستقبل.

2.II-2-1- إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء:

a. **تاريخ التحليل الكهربائي للماء:** كان الكيميائي البريطاني ويليام نيكولسون في القرن الثامن عشر (1753-1815) هو من اكتشف التحليل الكهربائي للماء، في بداية القرن التاسع عشر. بعد دراسة عمل فولطا على البطاريات الكهربائية، قام ببناء واحدة بنفسه واكتشف ذلك في غمر نهايات الموصلات الكهربائية في الماء، وكان هذا الأخير ينقسم إلى جزيئات الهيدروجين "H_2" والأكسجين "O_2".مع هذا الاكتشاف، أصبح نيكولسون أول رجل تم تسجيل اسمه في التاريخ ونجح في أداء تفاعل كيميائي باستخدام الكهرباء. [13]

b. تعريف التحليل الكهربائي للماء: تعد عملية التحليل الكهربائي ثاني أكثر العمليات استخدامًا في العالم (4٪) بعد عملية إعادة التشكيل بالبخار فيتكون من استخدام تيار كهربائي مباشر مطبق على حجم معين من الماء يدور بين قطبين (الأنود والكاثود) منغمسين في منحل الكهرباء لإجراء تفكك جزيء الماء (H_2O) كيميائيا إلى الأكسجين (O_2) والهيدروجين (H_2) وفقا للتفاعل الكهروكيميائي التالي:

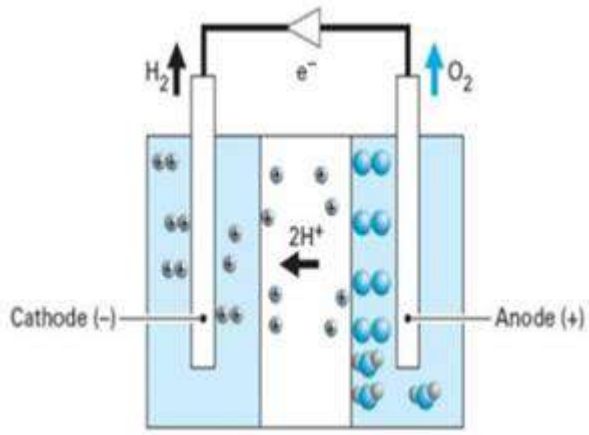
Oxydation à l'anode :

$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$ (Formation de O_2)

Réduction à l'cathode :

$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + OH^-$ (Formation de H_2)

يعرض تفاعل التحليل الكهربائي للماء مع تكوين الهيدروجين الذي يهاجر نحو القطب السالب والأكسجين نحو القطب الموجب، في وجود تيار كهربائي. عادة ما تكون إمدادات المياه للمحلل الكهربائي $1L/m^3$ مع استهلاك طاقة يتراوح بين $0,1kWh/m^3$ و$2.5kWh/m^3$.[17]



الشكلII.1: شكل توضيحي آلية عمل خلية التحليل الكهربائي للماء.[18]

c. مبدأ التحليل الكهربائي للماء: لا يتحلل الماء تلقائيا إلى هيدروجين وأكسجين عليك أن تمنحها الطاقة من أجل ذلك، وبالتالي فإن التحليل الكهربائي للماء هو تفاعل كهروكيميائي والذي يحدث في جهاز خاص يسمى المحلل الكهربائي فيتم توصيل تيار الكهرباء باستخدام مولد كهربائي والمياه السائلة، أي أننا نحول مركبا كيميائيا "ماء" إلى مركبات كيميائية أخرى (الهيدروجين والأكسجين) بالكهرباء.[13]

يتم توفير الدارة الداخلية بين القطبين بواسطة المنحل بالكهرباء؛ حيث تتحرك الأيونات السالبة (anode) نحو القطب الموجب وتتحرك الأيونات الموجبة (cathode) نحو القطب السالب. عند توصيل القطبين بمصدر كهربائي مستمر تحت الظروف العادية للحرارة والضغط يتفكك الماء إلى عنصرين الهيدروجين والأكسجين فيتحرر الهيدروجين عند المهبط (cathode) والأكسجين

عند المصعد (anode). يتطلب تقسيم الماء محتوى حراري يصل إلى$\Delta H(298K) = 286KJ/mol$ والذي يوافق الطاقة الكهربائية التي تعادل V=1.482v. [18]

$H_2O + énergie\ électrique \rightarrow H_2 + 1/2O_2 + chaleur.$ [15]

II.2-2-2- الطاقة الشمسية:

تعتبرالطاقة الشمسية مصدرأساسي من مصادرالطاقة المتجددة ويوجد نظامين لإمداد الطاقة الشمسية والنظام الأول يسمى "Photovoltaic" وهونظام الخلايا الفوتوضوئية ويطلق عليها الخلايا الشمسية الكهروضوئية، والنظام الثاني وهونظام التوربينات الحرارية باستخدام الطاقة الشمسية المركزة، "concentrated solar power" وتسمي الطاقة الشمسية الحرارية إلا أن حصة الطاقة الشمسية ما تزال متواضعة حيث يبلغ نصيبها حوالي 3% من إجمالي نصيب الطاقة المتجددة علي المستوى العالمي، إلا أنها تنمو بشكل متسارع حيث بلغ معدل النمو السنوي لها حوالي 48.2% وذلك حتى عام2019. [19]

II.2-2-2-1- الخلية الشمسية:

هي المكون الأساسي للمنظومة الشمسية وهي أصغر جزء فيه، تستجيب للإشعاع الشمسي المباشروغيرالمباشرمحولة طاقة الإشعاع إلى طاقة كهربائية. تعتمد كفاءة عمل الخلية على عاملين: الأول هو كفاءة التحويل داخل الخلية والثاني هو قابلية الخلية الشمسية على امتصاص الفوتونات كما تختلف أبعاد الخلايا الشمسية وفقا لنوعها وطريقة صناعتها، وتكون بأبعاد 10x10cmكخلايا قياسية، أقل ما يمكن أن تنتجه الخلية الشمسية من طاقة يتراوح بين 1-2watt بسبب صغر حجم الخلية الشمسية حيث تكون الخلايا الشمسية إما بأشكال واضحة الحدود ضمن الوحدة الشمسية الواحدة إذ من الممكن أن تكون بشكل مربع، مستطيل أو دائري تفصل بينها فواصل بمسافات تختلف حسب تصميم الوحدة الشمسية. [8]

II.2- 2-3- طاقة الرياح:

عملية توليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح تستخدم توربينات الرياح لإستخراج طاقة الرياح فتقوم الرياح بتدوير التوربينات التي تحول الطاقة الحركية إلى طاقة ميكانيكية، ويقوم المولد بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. يتم استخدام محول التيارالمتردد لتغذية الطاقة الكهربائية للتيارالمستمرإلى المحلل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين فيعرض الريح نظام إنتاج الهيدروجين المعتمد على الطاقة الكهربائية المستخرجة ويتم تحويل مصدر طاقة الرياح من تيارمتردد إلى تيارمستمرويتم استخدامه في المحلل الكهربائي الذي يقسم الماء إلى أكسجين وهيدروجين، مصدرطاقة الرياح للكهرباء يحمل العديد من الفوائد:

- مصدر وقود صديق للبيئة ونظيف، يوفر بيئة غير ضارة بالبيئة حلول الطاقة التي تخضع للانبعاثات الصفرية.
- مصدر طاقة متجدد ومستدام يستخدم الغلاف الجوي المعتمد على الشمس الرياح الساخنة وهذا المصدرلا يمكن أن ينفذ.
- طاقة الرياح مجانية تماما وفعالة من حيث التكلفة. [20]

II.3- أهمية الطاقة المتجددة ومميزاتها:

1. **التقليل من الاحتباس الحراري:** إن انبعاثات غازات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الوقود الأحفوري أصبحت تمثل ثقل على كاهل الإنسان وكذلك الانبعاثات الغازية الأخرى والاعتماد على الطاقة المتجددة سوف يحد كثيرا من تلك الانبعاثات، ففي دراسة حديثة للمختبر الوطني للطاقة المتجددة التابع لوزارة الطاقة "NREL" وجد أن الطاقة المتجددة يمكن أن تساعد من تقليل انبعاث الغازات الضارة بنسبة تتجاوز أكثر من 80 %.
2. **تحسين الصحة العامة:** تعمل الطاقة المتجددة وخاصةً الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بدون أي انبعاثات غازية وكذلك الطاقة الكهرومائية، إلا أن الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لا تحتاج إلي أي مياه وبالتالي فهي لا تلوث مصادر المياه بأي شكل من الأشكال.
3. **الطاقة المتجددة لا تنفد:** تكمن الأهمية الكبرى للطاقة المتجددة بأنها مصدر لا ينفذ فهي متجددة باستمرار ويمكن الاعتماد عليها إلى ما لا نهاية وهي بذلك عكس الطاقة المتولدة من الوقود الأحفوري.
4. **الطاقة المتجددة صديقة للبيئة:** حيث أن الطاقة الخضراء بالنسبة للبيئة هي الطاقة الشمسية، طاقة الرياح وطاقة المياه والتي تعد أيضا طاقة متجددة، ويعتبر علماء البيئة الطاقة المتجددة مصدرا هاما لتوليد الطاقة النظيفة، لا تعمل على تلوث البيئة ولا تؤدي إلى انبعاثات ولا يمكن أن تسبب ضررا بيئيا.[19]

II.4- دور الهيدروجين المتجدد:

إن استخدام الطاقة الكهربائية ذات الأصل المتجدد يجعل من الممكن الحصول على بصمة كربونية صفرية في عملية تصنيع المصدر والمكونات، وبالتالي الهيدروجين المؤهل "الأخضر" من حيث تقليل الانبعاثات CO_2. يمثل إنتاج الهيدروجين حوالي 3٪ من إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في جميع أنحاء العالم، حيث يشكل ظهور عمليات إنتاج منخفضة الكربون مجدية اقتصاديا ولذلك فهي قضية بيئية حاسمة للوصول إلى الهيدروجين كطاقة خضراء فتصبح الفرصة من حيث الحد من انبعاث الغازات الدفيئة حاسمة إذا أدرجناه في قطاعات النقل، الصناعة، التدفئة وقطاعات اخرى.[15]

يوفر الهيدروجين الأخضر إمكانية إزالة الكربون بشكل دائم والامتثال للأهداف المناخية من خلال إنتاجه الخالي تماما من ثاني أكسيد الكربون، إذا علمنا انه يتم إنتاج قرابة تسعة أطنان من ثاني أكسيد الكربون لإنتاج طن واحد من الهيدروجين من الميثان. ينتج عن إنتاج غاز الهيدروجين من الغاز الطبيعي وهي الطريقة السائدة حاليا، انبعاثات كبيرة من غازات الاحتباس الحراري وعلى النقيض من ذلك، لا يطلق الهيدروجين من مصادر الطاقة المتجددة ثاني أكسيد الكربون، وبذلك يقدم الهيدروجين الأخضر مساهمة مهمة في المناخ. [22]

II.5- قدرة الجزائر على إنتاج الهيدروجين المتجدد:

تنعم الجزائر بوفرة من الطاقة الشمسية ولديها فرصة هائلة لتوليد طاقة كهربائية فعالة من حيث التكلفة وعالية الكثافة لتزويد المحلل الكهربائي للهيدروجين الأخضر على مدار السنة بالوقود. أيضا احتلال مساحة كبيرة من الحزام الشمسي، يبلغ متوسط مدة سطوع الشمس سنويا في هذه المنطقة أكثر من 3000 ساعة في السنة، بينما يتراوح طول سطوع الشمس اليومي في الشمال الجزائري من 5 ساعات في اليوم في الشتاء إلى أكثر من 11 ساعة في اليوم في الصيف. من ناحية أخرى، يتمتع الجزء الجنوبي

من البلاد بفترة ضوء شمسية يومية أطول إذ دائما ما يكون طول ضوء الشمس اليومي في هذا الموقع أكبرمن 8 ساعات يوميا، وقد يصل إلى 12ساعة يوميا خلال أشهر المواسم الحارة. استغلال الطاقة في جنوب البلاد، وإنتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية يوصى به إلى حد كبير مع إجراء دراسة على تأثير الحرارة، الغبار، الرطوبة والميل يعزز كفاءة الألواح الشمسية.[21]

في عام 2020، التزمت الحكومة بإدراج الهيدروجين في مزيجها من الطاقة تصدرعام 2030 كجزء من إستراتيجية إنتاج الهيدروجين الأخضرالتي تأخذ بعين الاعتبارالنظرفي الإمكانات الحالية غيرالمستغلة. تشارك الجزائر (سوناطراك) مع شركة الطاقة الإيطالية إيني خارطة طريق تم تحديدها من أجل التقييم المشترك للجدوى الفنية والتجارية لـ مشروع تجريبي لإنتاج الهيدروجين الأخضرباستخدام الكهرباء المولدة من مصادرالطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح) من أجل الحفاظ على موارد البلاد المائية، المشروع سوف يسعى إلى استخدام المياه التي تنتجها حقول النفط لعمليات التحليل الكهربائي اللازمة لإنتاج الهيدروجين بعد معالجته بشكل مناسب. تتواجد إيني في الجزائرمنذ عام1981. حيث تسعى الإتفاقية إلى تحسين التعاون التكنولوجي بين الشركتين ومساعدة مسارإزالة الكربون من أجل الإنتقال إلى مستقبل منخفض الكربون، اتفقت كلتا الشركتين على العمل معا لإنشاء برامج تدريبية في المنبع والتقنيات الناشئة المتصلة بمناطق انتقال الطاقة من خلال شركة إيني والمعهد الجزائري للبترول.[21]

6.II- الخاتمة:

نستنتج من هذا الفصل بأن إنتاج الهيدروجين عن طريق مصادر الطاقة المتجددة له دور وأهمية في تواجد الهيدروجين الأخضر في الحياة المستقبلية كونه بديلا نظيفا وفعالا ويمكن أن يساعد في حماية البيئة وتعويض استنزاف الموارد الأحفورية حيث تعددت مصادر وطرق إنتاجه، لكن تبقى طريقة إنتاجه بالتحليل الكهربائي للماء بمصدر متجدد كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح له دور إيجابي في البيئة حيث يقلل من انبعاثات الكربون وهذا ماجعله مصدرنظيفا للطاقة.

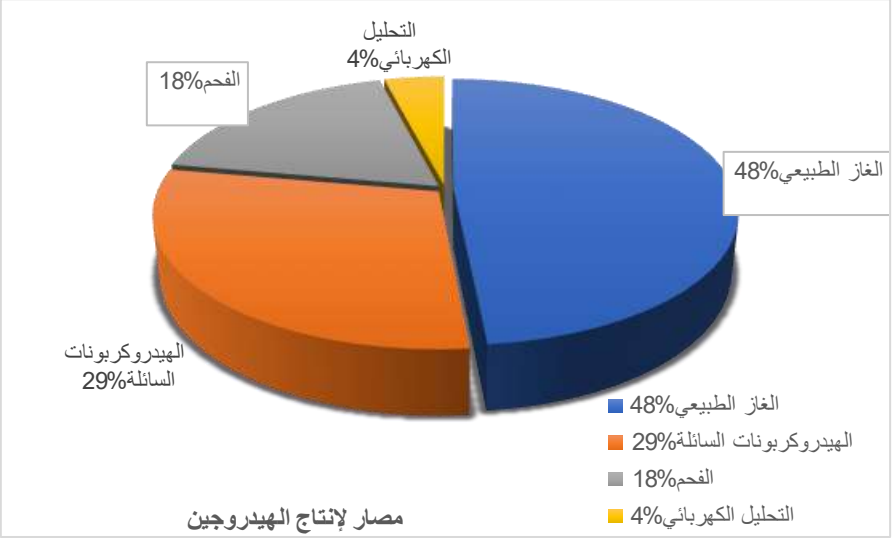
الفصل الثالث

الدراسة تجريبيـــة

1.III- مقدمة:

يؤدي الاحتراق المستمرللوقود الأحفوري إلى زيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراري في الجو التي تشكل خطورة على البيئة فبدورها تعتبر عاملا لتغييرالمناخ، ولذلك يجب التقليل من الاعتماد عليها والتوجه الى الوقود البديل وهو الهيدروجين الأخضر الذي يعتبرمصدروقود واعد حيث ينتج الماء فقط عند احتراقه بدون انبعاث غازات ضارة مما تجعله بديلاً نظيفا، ويكون إنتاج الهيدروجين بواسطة مصادرالطاقة المتجددة المتاحة. وبالتالي يعتبر الهيدروجين أنظف مصدرللطاقة، وهوالحل المناسب الذي يزعم أنه وقود المستقبل حيث له دور خاص في أزمة الطاقة وأيضا للتغلب على الآثار الضارة للغازات الدفيئة، ويمكن استخدامه كمصدر للطاقة قابل للنقل.[23]

فيمكن الحصول على الهيدروجين من مصادرمختلفة، حيث أن نسبة 96٪ من إجمالي إنتاج الهيدروجين في عام 2014 يأتي من عمليات استخدام الهيدروكربونات، بينما نسبة 4٪ من عمليات التحليل الكهربائي. ومع ذلك، فإن هذه النسب تشمل أيضا الإنتاج المشترك للهيدروجين، الذي يحدث بشكل تلقائي خلال عمليات أخرى، مثل إنتاج الهيدروجين الناتج عن عمليات التكرير للهيدروكربونات السائلة، وإنتاج الهيدروجين الناتج عن إنتاج فحم الكوك في صناعة الصلب، وإنتاج ثنائي الكلوروهيدروكسيد الصوديوم عن طريق التحليل الكهربائي. وعلى الرغم من ذلك، فإن نسبة قليلة فقط من إجمالي إنتاج الهيدروجين تأتي من عمليات التحليل الكهربائي للماء، وهي واحدة من العمليات التي تم تطويرها لإنتاج الهيدروجين.[15]



الشكلIII.1: االمصادر الرئيسية لإنتاج الهيدروجين.[24]

2.III- الهدف من الدراسة:

الهدف من هذه الدراسة هو البحث عن سبل التقليل أكبرما يمكن من تكلفة انتاج الهيدروجين المتجدد عن طريق التحليل الكهربائي للماء. و لهذا الغرض نربط المحلل الكهربائي بخلية كهروضوئية لتوفير الكهرباء اللازمة لتشغيله. ثم سنقوم بإختبارخمسة أقطاب، منها اربعة معادن (Al, Zn ,Fe,Cu) واستعمال اقطاب الفحم C لإنها صديقة للبيئة، وسنختبرثلاثة أنواع مختلفة من المياه (الماء

البحر، ماء الصرف الصحي المعالج من محطة سعيد عتبة ورقلة، مياه الصناعة البترولية). ثم سنختبرنفس المياه مع وجود إضافات (الماء الأكسجيني H_2O_2، برمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$). لتحديد في أي حالة يكون مردود إنتاج الهيدروجين.

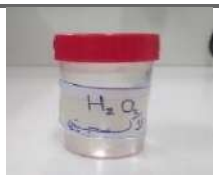
III.3- الأدوات والمواد المستعملة:

الجدولIII.1: الأدوات والمواد المستعملة .

الأدوات	المواد
أسلاك توصيل	ماء البحر
لوح كهروضوئي 20w	ماء الصرف الصحي المعالجة
5 أحوض بلاستيكية500ml	ماء الصناعة البترولية
مقياس مدرج سعة500ml	برمنغنات البوتاسيوم $KMno_4$
مقياس مدرج سعة 100ml	ماء الأكسجيني H_2O_2 .
الأقطاب الكهربائية (Al, Zn, Cu, Fe, C)	ماء مقطر

- **الأكاسيدالمضافة للمياه:**

الجدولIII.2: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمؤكسدات.

الأكسيد المستعمل	برمنغنات البوتاسيوم $KMno_4$	الماء الأكسجيني H_2O_2
شكل المنتج		
الكتلة المولية (kg/mol)	158.034	34.0147
اللون	بنفسجية محمرة	سائل شفاف لارائحة له ولا لون
الكثافةg/cm^3	2.7	1.45
الذوبان في الماء عند 20°C	قابل للذوبان في ماء	قابل للذوبان في ماء

4.III- التحليل الكهربائي:

تم وضع المحلل الكهربائي متصلا بلوح كهروضوئي وتم وضع مقياس مدرج منكوس فوق الكاتود للتجميع الهيدروجين الناتج. أطوال الأقطاب المستعملة $(10x2.5)\ cm^2$ وكان الجزء المغمور 6cm، أي مساحة التلامس قدرها $60cm^2$ وكثافة التيار تساوي $16.66(A/m^2)$في جميع التجارب كان الجهد 4 فولط و شدة التيار 0.1 أمبير أي W=V*I=4Watt، وكان حجم الماء المستعملة في تجربة 450ml.

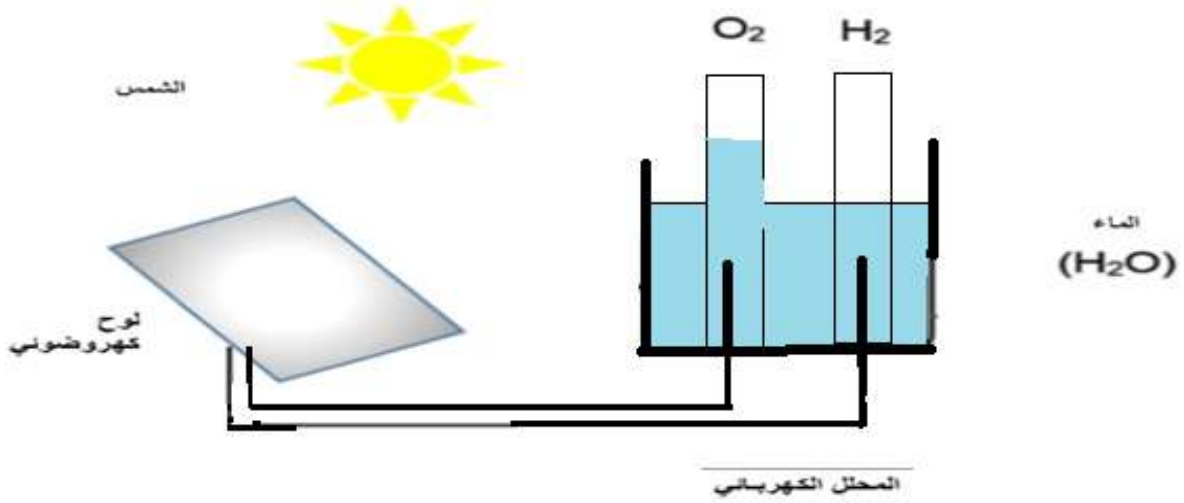
أجريت التجارب تحت الضغط الجوي ودرجة الحرارة المحيطة لتبدأ عملية تحليل الماء إلى غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين. التفاعلات الأساسية التي تحدث عند القطبين:

- عند المصعد(anode) يتم تحرير أيونات الهيدروكسيد OH^- ويحررمعه إلكترونات وانبعاث الأكسجين، وفقا للمعادلة:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4é$$

- عند المهبط (cathode) تفاعل الإرجاع لجزيء الماء وتحرر الهيدروجين، وفقا للمعادلة التالية:

$$2H_2O + 2é \rightarrow H_2 + 2OH^-$$



الشكلIII.2: شكل توضيحي للتحليل الكهربائي المزود بلوح كهروضوئي.

الشكلIII.3: التركيب التجريبي.

- **ماء الصرف الصحي المعالج:** الماء المستعمل مأخوذ من نقطة خروج المياه المعالجة في محطة تنقية مياه الصرف الصحي سعيد عتبة ورقلة.

الجدولIII.3: خصائص ماء الصرف الصحي المعالج.

الخاصية	القيمة
الناقلية الكهربائية	24.39ms/cm
الملوحة	14.73Pus
PH	7.41
T°	24.76°C

III.5- الإجراءات التجريبية:

III.5-1-التجربة الأولى: في هذه التجربة قمنا باختبارخمسة أقطاب مختلفة (C, Zn, Cu, Fe, Al).

III.5-2-التجربة الثانية: قمنا باختبار ثلاثة انواع من المياه (ماء البحر، ماء الصرف الصحي المعالج، ماء الصناعة البترولية).

III.5-3- التجربة الثالثة: نقوم باختبار قدرة المؤكسدات ($KMnO_4$, H_2O_2) عند إضافتها للمياه في رفع المردود.

III.6- المقادير المقاسة:

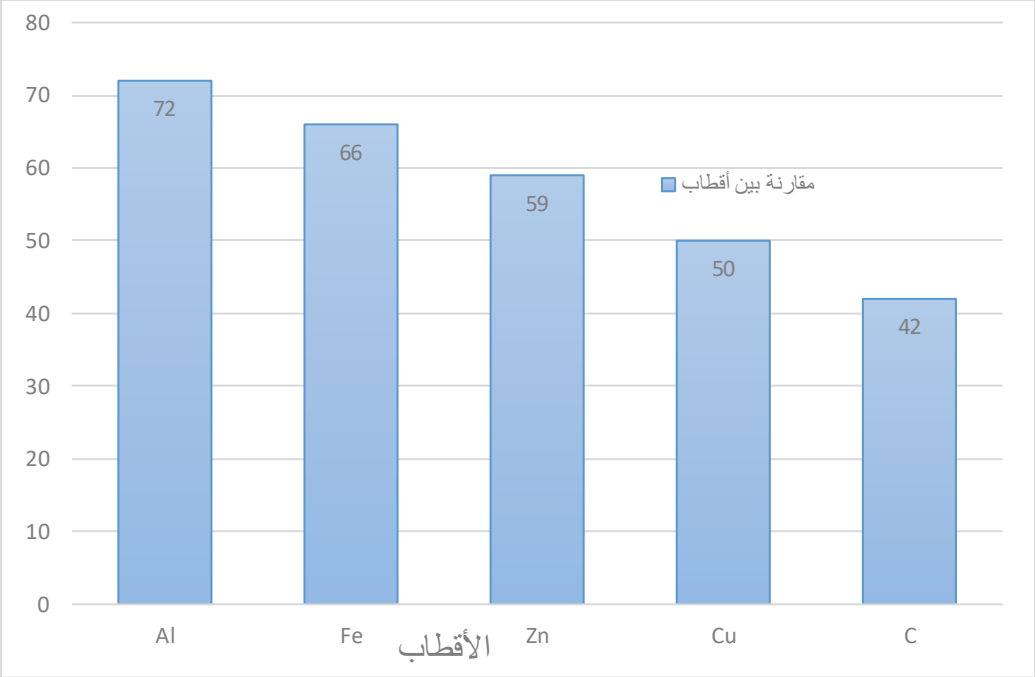
في هذا العمل التجريبي، يتم قياس المقادير التالية:

1- التيار والجهد المار خلال المحلل الكهربائي: يتم قياس التيار الكهربائي باستخدام الأمبير متر الذي يتم توصيله على التسلسل مع المحلل الكهربائي.
2- يتم قياس الجهد الكهربائي بواسطة جهاز الفولط متر الذي يوصل على التوازي.
3- حجم الهيدروجين الناتج.

III.7- النتائج والمناقشات:

- **دراسة اختبار الأقطاب في مياه الصرف الصحي المعالجة:**

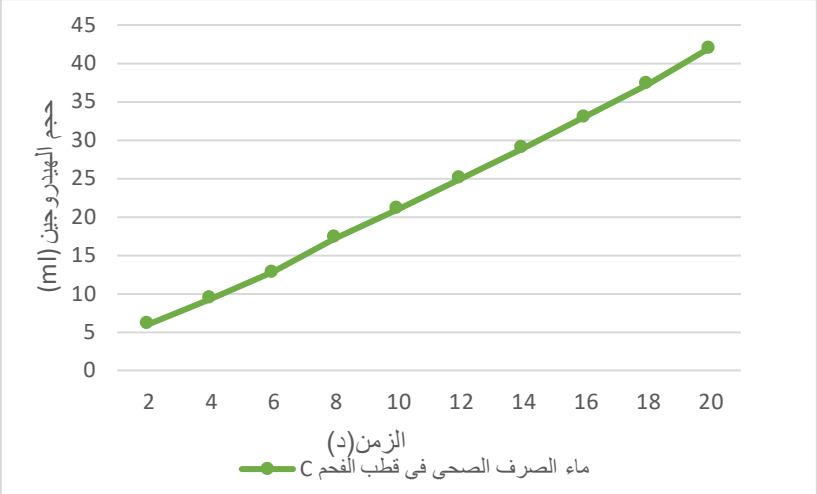
نقوم بإختبار خمسة أقطاب (C, Zn, Cu, Fe, Al) بإستعمال ماء الصرف الصحي المعالج ونقوم بتسجيل حجم غاز الهيدروجين المتحصل عليه بعد 20 دقيقة.



الشكلIII.4: تأثير الأقطاب الكهربائية على حجم إنتاج الهيدروجين.

الشكلIII.4 يوضح تأثير الأقطاب الكهربائية على حجم إنتاج الهيدروجين في ماء الصرف الصحي المعالج، حيث نلاحظ أكبر حجم إنتاج للهيدروجين عند قطب الألمنيوم حيث بلغ 72ml بعد 20 دقيقة من عملية التحليل الكهربائي، وأقل حجم كان عند قطب النحاس 50ml من إنتاج الهيدروجين.نفسر اختلاف تأثير الأقطاب الكهربائية في إنتاج الهيدروجين إلى إختلاف قدرة الأقطاب على توصيل التيار الكهربائي، ولإنه يعتبر معدنا خفيفا لديه الموصلية الكهرباء جيدة وعالية عن الأقطاب الأخرى ومقاوم للتآكل له ثلاثة إلكترونات حرة في الطبقة السطحية يستطيع أن يفقدها بدل المعادن الأخرى التي تستطيع فقد إلكترونين فقط.

1) مياه الصرف الصحي المعالج:



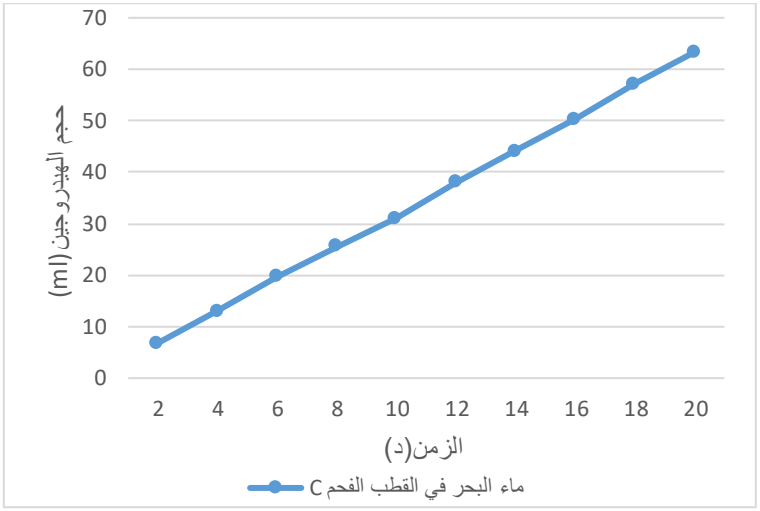
الشكلIII.5: يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصرف الصحي معالج مع أقطاب C بدلالة الزمن.

الشكلIII.6: يمثل حجم الهيدروجين في ماء الصرف الصحي المعالج في أقطابAl بدلالة الزمن.

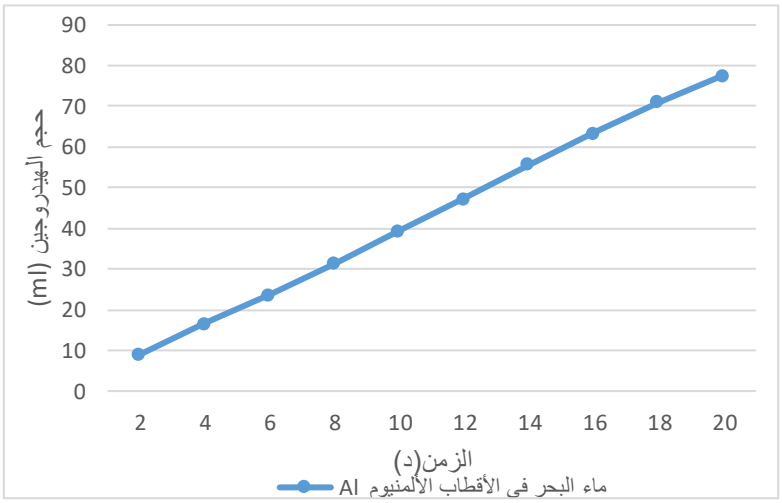
يمثل الشكلIII.5 تغيرحجم الهيدروجين في حوض المحلل الكهربائي بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 6ml، وترتفع لتصل إلى أقصى قيمة 42ml بعد 20 دقيقة .

يمثل الشكلIII.6 تغيرحجم الهيدروجين في المحلل الكهربائي بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 9.33ml، و ترتفع لتصل إلى أقصى قيمة 72ml بعد 20 دقيقة .

2) ماء البحر:



الشكلIII.7:يمثل حجم الهيدروجين في ماء البحر مع أقطاب C بدلالة الزمن.

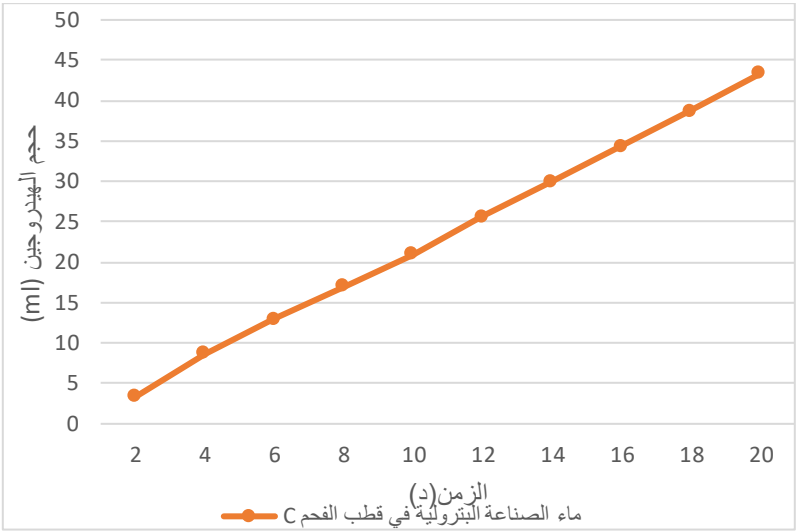


الشكلIII.8:يمثل حجم الهيدروجين في ماء البحر مع أقطاب Al بدلالة الزمن.

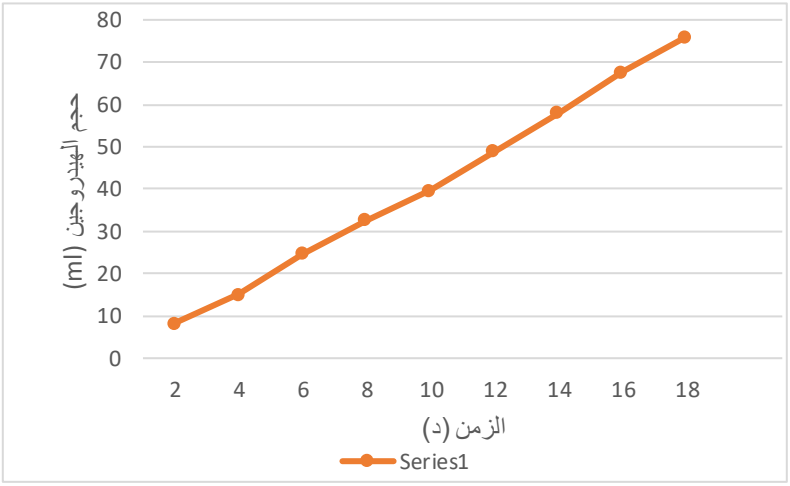
يمثل الشكلIII.7 تغيرحجم الهيدروجين في المحلل الكهربائي مع أقطاب الفحم C بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 6.33ml، وترتفع لتصل إلى أقصى قيمة 63.33ml بعد 20 دقيقة.

يمثل الشكلIII.8 تغيرحجم الهيدروجين في المحلل الكهربائي مع أقطاب Al بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 9ml، و ترتفع لمدة 20 دقيقة لتصل إلى أقصى قيمة77.66ml مع إستمرار التحليل الكهربائي.

3) ماء الصناعة البترولية:



الشكلIII.9: يمثل حجم الهيدروجين في ماءالصناعة البترولية مع أقطابC بدلالة الزمن.

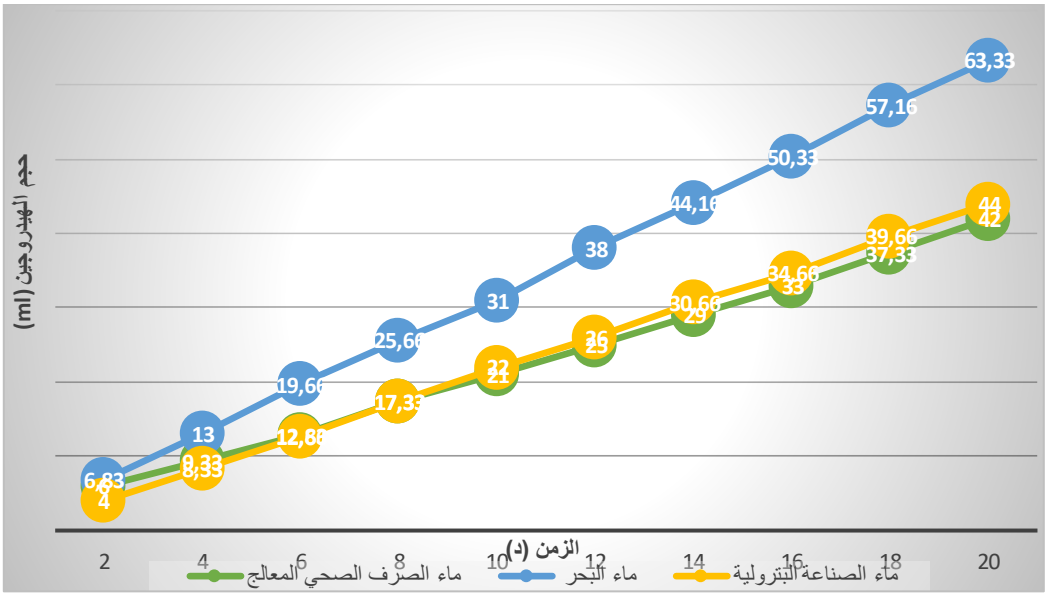


الشكلIII.10: يمثل حجم الهيدروجين في ماءالصناعة البترولية مع أقطابAl بدلالة الزمن.

يمثل الشكلIII.9 تغيرحجم الهيدروجين في المحلل الكهربائي مع أقطاب C بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 4ml، وترتفع لمدة 20دقيقة لتصل إلى أقصى قيمة 39.66ml مع إستمرار التحليل الكهربائي.

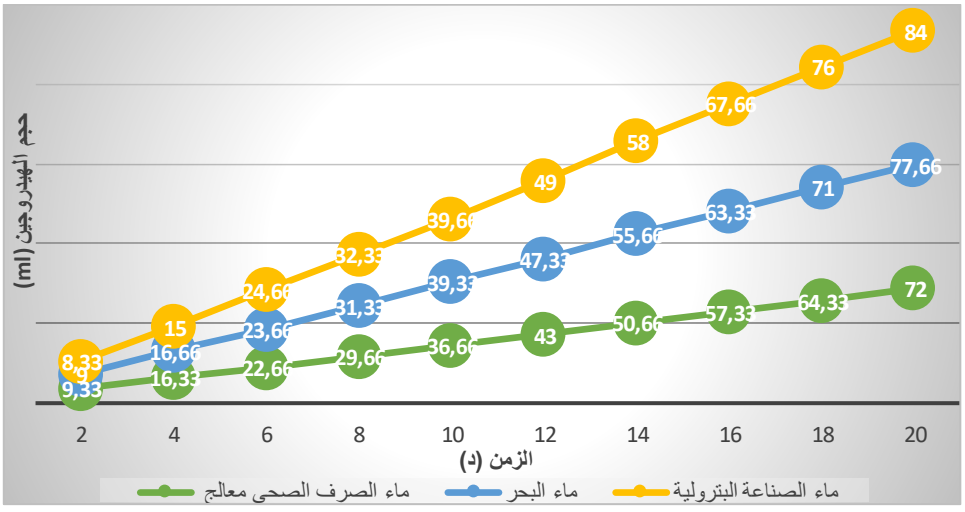
يمثل الشكلIII.10 تغيرحجم الهيدروجين في حوض المحلل الكهربائي في الأقطاب Al بدلالة الزمن، في بداية التحليل الكهربائي كان حجم الهيدروجين 6.33ml، وترتفع لمدة 18دقيقة لتصل إلى أقصى قيمة 76ml مع إستمرار التحليل الكهربائي.

2- تأثير أنواع المياه مختلفة على حجم إنتاج الهيدروجين:



الشكلIII.11: يمثل حجم الهيدروجين وثلاثة انواع مختلفة من المياه مقارنة في أقطابC بدلالة الزمن.

يمثل الشكلIII.11 تغيرحجم الهيدروجين بدلالة الزمن عند قطب الفحم في حوض المحلل الكهربائي في ثلاث أنواع مختلفة من المياه إذ نلاحظ أن إنتاج حجم الهيدروجين في تزايد لدى جميع أنواع المياه؛ متقارب نسبيا في مياه الصرف الصحي ومياه الصناعة البترولية عكس حجم الهيدروجين في مياه البحر إذ نلاحظ أنه أحسن إنتاجا من السابقين؛ فنرى تزايدا معتبرا لحجم الهيدروجين إذ يصل ل 63.33ml عند الدقيقة 20 بينما يصل حجم الهيدروجين في ماء الصرف الصحي المعالج وماء الصناعة البترولية إلى 42ml و 44ml في الدقيقة نفسها.

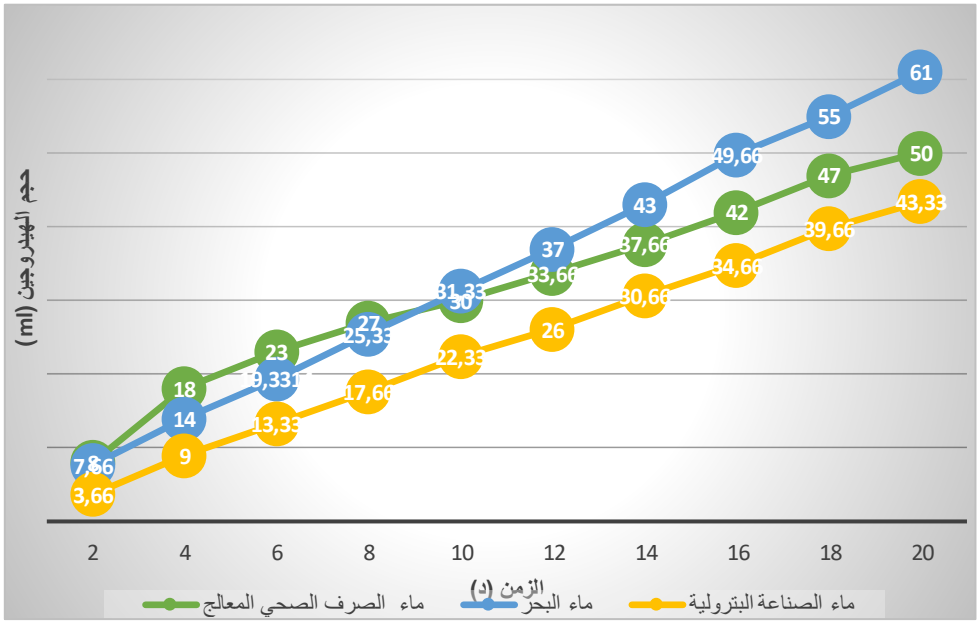


الشكلIII.12: يمثل حجم الهيدروجين وثلاثة أنواع من مياه مختلفة ومقارنة في أقطابAl بدلالة الزمن.

يمثل الشكلIII.12 تغيرحجم الهيدروجين بدلالة الزمن عند قطب الألمنيوم في حوض المحلل الكهربائي في ثلاث أنواع مختلفة من المياه إذ نلاحظ أن إنتاج حجم الهيدروجين يتصاعد عند جميع أنواع المياه، غير أنه يتزايد ببطئ متباين في ماء الصرف الصحي المعالج فنلاحظ أنه في الدقيقة العشرين يصل حجمه الى 72ml وهوما يعد ضئيلا بنظيريه حيث يصل ماء الصناعة البترولية في20دقيقة إلى 84ml وماء البحرفي20 دقيقة إلى 77.66ml.

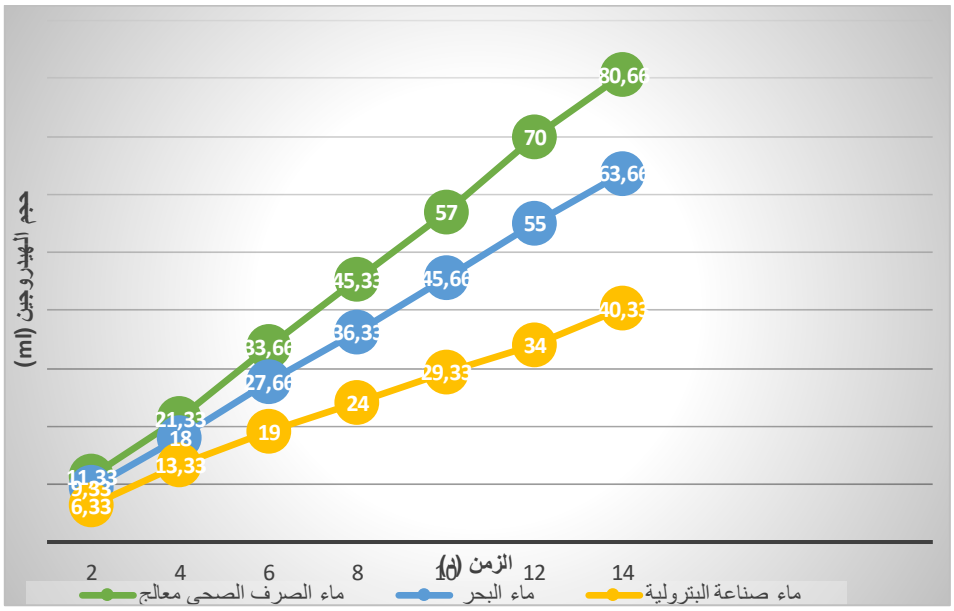
3- دراسة قدرة بعض المؤكسدات وإضافتها إلى الماء وتأثيرها على حجم إنتاج الهيدروجين:

a) برمنغنات البوتاسيوم $KMno_4$:



الشكلIII.13: يمثل حجم الهيدروجين ومقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطابC بدلالة الزمن بإضافة $KMno_4$.

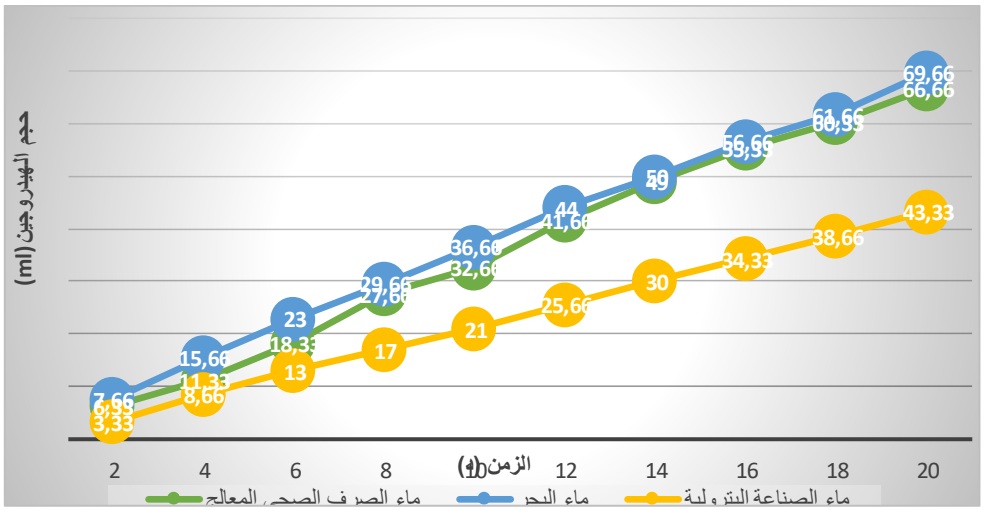
يمثل الشكلIII.13 تغيرحجم الهيدروجين بدلالة الزمن عند قطب الفحم في حوض المحلل الكهربائي عند ثلاث أنواع مختلفة من المياه مع إضافة برمنغنات البوتاسيوم للمياه؛ فنلاحظ أن حجم إنتاج الهيدروجين يتصاعد ببطئ إذ ينتج في الدقيقة الثانية 5ml ثم يتزايد شيئا فشيئا فنرى أنه بلغ 22ml في الدقيقة العاشرة و43.33ml في الدقيقة العشرين فمقارنة بنظيريه اللذان بلغا ال 50ml و61ml في الدقيقة نفسها نشاهد بوضوح مدى تأثير برمنغنات البوتاسيوم في زيادة إنتاج الهيدروجين لديهما حيث كان اكبر إنتاجا للهيدروجين في ماء البحر.



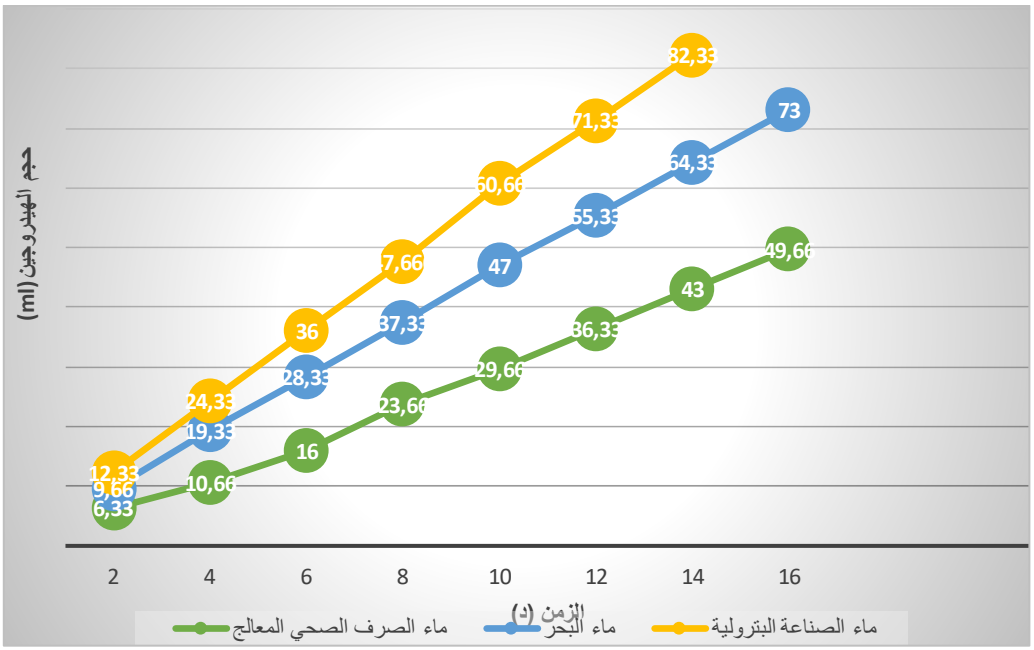
الشكلIII.14: يمثل حجم الهيدروجين ومقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطابAl بدلالة الزمن بإضافة $KMno_4$.

يمثل الشكلIII.14 تغيرحجم الهيدروجين بدلالة الزمن عند قطب الألمنيوم في حوض المحلل الكهربائي في ثلاث أنواع مختلفة من المياه مع إضافة برمنغنات البوتاسيوم، فنلاحظ التزايد الملحوظ في إنتاج الهيدروجين منذ بداية التحليل الكهربائي إذ نرى أن التزايد في حجم الهيدروجين يكون لدى جميع انواع الماء حيث يصل حجمه في ماء الصناعة البترولية عند الدقيقة 14 إلى 40.33ml وماء الصرف الصحي المعالج إلى 80.66ml وماء البحر إلى63.66ml. نرى أن لبرمنغنات البوتاسيوم تأثيرا بالغا في زيادة حجم انتاج الهيدروجين في ماء الصرف الصحي معالج.

b) إضافة الماء الأكسجيني H_2O_2:



الشكلIII.15:يمثل حجم الهيدروجين ومقارنة بين 3 أنواع من مياه في أقطاب C بدلالةالزمن بإضافةH_2O_2.



الشكلIII.16: يمثل حجم الهيدروجين ومقارنة بين 3 أنواع من المياه في أقطابAl بدلالة الزمن بإضافةH_2O_2.

الشكلينIII.15 وIII.16 يمثلان تغيرإنتاج حجم الهيدروجين بدلالة الزمن عند قطب الفحم وقطب الألمنيوم في حوض المحلل الكهربائي في ثلاث أنواع مختلفة من المياه مع إضافة الماء الأكسجيني.

حيث نلاحظ في الشكلIII.15 أن إنتاج الهيدروجين بالنسبة لمياه البحر في تزايد مستمر مقارنة بماء الصرف الصحي المعالج وماء الصناعة البترولية، أما ماء الصرف الصحي المعالج فهو ينتج كمية هيدروجين أقل من ماء البحر كما هو موضح في المنحنى، يليه ماء الصناعة البترولية الذي يعد أقل إنتاجا مقارنة بسابقيه، ومنه نستخلص أن الماء الأكسجيني يؤثر على ماء البحربصفة ملحوظة في إنتاج الهيدروجين عند قطب الفحم بدلالة لزمن.

وفي الشكلIII.16 نلاحظ أن ماء الصناعة البترولية ينتج نسبة هيدروجين كبيرة عند قطب الألمنيوم بالنسبة للزمن أكثر من ماء البحروماء الصرف الصحي المعالج. نستنتج أن إنتاج الهيدروجين عند قطب الألمنيوم يكون بنسبة كبيرة عند إضافة الماء الأكسجيني لماء الصناعة البترولية.

III.8- الخاتمة:

بعد القيام بتطبيق الدراسة التجريبية بهدف تحديد المياه التي تعطي مردودا عاليا من إنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء باستخدام لوح كهروضوئي تبين لنا النتائج التي تحصلنا عليها أن أفضل الأقطاب المعدنية هي أقطاب الألمنيوم Al التي تعد أفضل إنتاجا للهيدروجين مع مياه الصناعة البترولية، خاصة عند إضافة الماء الأكسجيني (H_2O_2) تليها أقطاب الفحم التي تعود بأكبر مردود هيدروجين مع مياه البحر. كما سلطنا الضوء في دراستنا هذه على دور المؤكسدات عند إضافتها للماء وتأثيرها من حيث المردود فوجدنا أن لها دورا كبيرا في زيادة حجم إنتاج الهيدروجين وتحسينه خاصة في أقطاب المنيوم Al.

أخيرا، بعد التجارب والنتائج المحصل عليها فإن المياه الأفضل إنتاجا للهيدروجين الأخضرهي مياه الصناعة البترولية عند استعمال أقطاب الألمنيوم Al. بينما إذا استخدمنا البرمنغنات البوتاسيوم مع مياه الصرف الصحي المعالج في نفس القطب وهي تعد احسن المياه انتاجا للهيدروجين وهي أكبرنسبة في كل التجارب.

الخاتمة العامة

إن الهيدروجين المتجدد يمثل خطوة مهمة نحو تحقيق أهداف الاستدامة البيئية والتقليل من الإعتماد على الوقود الأحفوري. يتميز الهيدروجين كوقود بأنه قابل للتجديد ولا ينتج عنه انبعاثات ضارة للبيئة عند إحتراقه، ويعد واحدا من الحلول الواعدة لتلبية احتياجاتنا المستدامة للطاقة في المستقبل، والهيدروجين هو وقود نظيف يمكن إنتاجه باستخدام مصادر متجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، عن طريق التحليل الكهربائي للماء. وبفضل قدرته على تخزين الطاقة ونقلها بكفاءة، يعتبر الهيدروجين خيارا واعدا في المجالات التي تتطلب طاقة عالية الكثافة مثل النقل والصناعة. ومع ذلك، فإن ارتفاع تكلفة انتاج وتخزين ونقل الهيدروجين المتجدد مرتفعة نسبيا، لا يزال يشكل تحديا أمام اعتماده الشامل كمصدر رئيسي للطاقة.

في الوقت الحالي، يتطلب إنتاج الهيدروجين المتجدد تكنولوجيات متقدمة ومكلفة لتحويل الماء إلى هيدروجين وتخزينه بأمان. بالإضافة إلى ذلك، تكاليف توليد الطاقة المتجددة اللازمة لإنتاج الهيدروجين مثل الألواح الشمسية ومحطات الرياح، لا تزال مرتفعة. يجب العمل على تطوير تقنيات جديدة وتحسين العمليات الحالية لتحقيق تكلفة أقل وجعل الهيدروجين المتجدد أكثر قدرة على المنافسة مع الوقود الأحفوري، ستزيد استدامة الهيدروجين المتجدد واعتماده في مجموعة واسعة من الصناعات.

الهدف العام من هذا العمل التطبيقي، استعمال ثلاثة أنواع مختلفة من المياه (الماء البحر، ماء الصرف الصحي المعالج، مياه الصناعة البترولية)، للبحث عن سبل التقليل أكبرما يمكن من تكلفة إنتاج الهيدروجين المتجدد عن طريق التحليل الكهربائي للماء. ولهذا الغرض نربط المحلل الكهربائي بخلية كهروضوئية لتوفير الكهرباء اللازمة لتشغيله.

ومن أجل تحقيق هذا الهدف قمنا بإجراء إختبار خمسة أقطاب، أربعة معادن (Al, Zn, Fe,Cu) وقطب الفحم C، ومقارنة الأقطاب من حيث إنتاج الهيدروجين من أجل استخدام أفضلها كقطب كهربائي للمحلل. وإختبارنا ثلاثة أنواع مختلفة من المياه (ماء البحر، ماء الصرف الصحي المعالج، مياه الصناعة البترولية)، ثم اختبرنا نفس المياه مع وجود إضافات (الماء الأكسجيني H_2O_2، برمنغنات البوتاسيوم $KMnO_4$). للتحديد في أي حالة يكون مردود إنتاج الهيدروجين أكبربطريقة غيرمكلفة. النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها تبين ما يلي:

- لقد كان لنوع الأقطاب الكهربائية تأثيركبير على زيادة حجم الهيدروجين الناتج، قمنا بالاختيار الأمثل للأقطاب من حيث القدرة على التوصيل وعدم التآكل وهي أقطاب الأمنيوم Al وهي من أفضل الأقطاب إنتاجا لهيدروجين، وهي التي اعتمدعليها في التحليل الكهربائي للمياه.
- تحصلنا في أقطاب الفحم أعلى نسبة إنتاج للهيدروجين وكانت في ماء البحر، أما في أقطاب الألمنيوم أكبر نسبة إنتاج للهيدروجين هي في ماء الصناعة البترولية .
- اختيار المؤكسدات التي تنشط نقل الكهرباء وبالتالي تحسن من نسبة إنتاج الهيدروجين.
- عند إضافة المؤكسد $KMno_4$ في نفس ظروف التجربة السابقة تحصلنا على أعلى زيادة في ماء الصرف الصحي المعالج في أقطاب الألمنيوم، تحسين في مردود إنتاج الهيدروجين وهي تعد أعلى نسبة في كل التجارب السابقة، أما في أقطاب الفحم العكس انخفض نسبيا مردود إنتاج الهيدروجين حيث يبقى ماء البحر أعلى إنتاجا للهيدروجين ولم نشهد زيادة عند إضافة برمنغنات البوتاسيوم .

- أما عند إضافة الماء الأكسجيني تحصلنا على أعلى مردود وأحسنه في ماء الصناعة البترولية بنسبة أكبر لإنتاج الهيدروجين، أما في قطب الفحم نجد أحسن نسبة كانت أيضا ماء البحر ولكن بزيادة طفيفة وقليلة.
- منه نستنتج أن أعلى نسبة لإنتاج الهيدروجين تكون عند ماء البحر وذلك عند استعمالنا لأقطاب الفحم، وأما ماء الصناعة البترولية يكون بنسبة أعلى وجيدة في أقطاب الألمنيوم وخاصة عند إضافة الماء الأكسجيني يزداد حجم إنتاج الهيدروجين أي يحسن من مردود إنتاجه بشكل فعال. وماء الصرف الصحي المعالج يكون أكبر نسبة إنتاج في أقطاب الألمنيوم وتحديدا عند إضافة البرمنغنات البوتاسيوم حيث يساهم وبشكل كبير جدا في الرفع من حجم إنتاج الهيدوجين. توفر هذه النتائج فرصا جيدة في تحسين نسبة إنتاج الهيدروجين وتقليل تكلفة إنتاجه وذلك بالإعتماد على هذه المياه والعمل على تطويرها مع الطاقات المستقبلية .

قائمة المراجع

[1] Megía, Pedro J,et al. "Hydrogen production technologies: from fossil fuels toward renewable sources. Amini review." *Energy & Fuels* 35.20 (2021): 16403-16415.

[2] أ.م.د.أحمد فاضل مخيبر، م.د.علاء عزيز عباس، م.م.فراس كاظم نصيف، "الطاقة الهيدروجينية"، مقالة علمية، في قسم الفيزياء، ص 1-8.

[3] الهيدروجين كمصدروناقل للطاقة النظيفــة المستـدامة لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، سلطنة عمان، https://gccstat.org/ar/statistic/publications/hydrogen-as-a-source-and-carrier-of-sustainable-clean-energy-in-gcc-countries1أفريل2022.

[4] بدري عبد العزيز، طاقة الهيدروجين كبديل طاقوي جديد في العالم وإمكانية استخدامه كوقود في الجزائر، أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه، تخصص تحليل اقتصادي، جامــعة قاصدي مرباح، ورقلة،2019 .

[5] رحمان آمال، كيحلي سلمى عائشة، اقتصاديات الهيدروجين وإمكانيات التطبيق لتحقيق التنميةالمستدامة، مجمع مداخلات الملتقى الدولي الثاني حول الأداء المتميز للمنظمات والحكومات، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، يومي 23-22 نوفمبر 2011.

[6] عمر خليل أحمد الجبوري، أحمد حسن أحمد الجبوري، مبادئ الطاقات المتجددة، المعهد التقني، الحويجة، 2010.

[7] Makridis, Sofoklis, "Hydrogen storage and compression" arXiv preprint arXiv:1702.06015 (2017).

[8] سلوى بوعلاتي، بشرة لقوقي، دراسة تجريبية لإنتاج الهيدروجين باستعمال الطاقة الشمسية عن طريق المياه الصاعدة إلى سطح الأرض بمدينة ورقلة (الشط)، مذكرة ماستر أكاديمي، ورقلة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، علوم المادة، تخصص فيزياء طاقوية والطاقات المتجددة، 2020.

[9] كورنيليوس ماتيس، فاليريا اروفو،لويس ريتبي برادو، إنتاج الهيدروجين الأخضروتصديره من منطقة من الشرق الأوسط وشمال إفريقيا في اروبا، عن المترجمة نهى فؤاد خليفات، عمان الأردن/2020 /ص6.

[10]أحمد بدر، كيفية إنتاج الهيدروجين وتاريخ اكتشافه، https://attaqa.net, 20-06-2020.

[11] Vaillancourt, K, G. Simbolotti, and G. Tosato. "IEA ETSAP—Technology Brief P04: Oil Refineries. IEA-ETSAP: Paris, France (2014).

[12] Jovan, David Jure, and Gregor Dolanc. "Can green hydrogen production be economically viable under current market conditions." Energies 13.24 (2020): 6599.

[13] Moumén Bekkouche Mohammed Khemais**,** Doudi Taha, Mémoire Master enSciences et Technologies **:** Etude de la Nature d'Eau d'El Oued sur L'electrolyse**,** Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued,2018.

[14] Acar, C. Dincer, I.Hydrogen Production. Comprehensive energy systems, 3, (1-40 (2018).

[15] LE BOULZEC Hugo, La production d'hydrogène «vert », juin-16.

[16] Faisal, Ade. "International Journal of Civil Engineering and Geo Environmental." KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (2019).

[17] Oscar Loko Kouamy Akamel, usage de l'hydrogènr pour l'alimentation des vèhicules au quèbec dans un contexte de dèvelopement durable,universite de sherbrooke, Février 2019.

[18] فيـــروز عباســـي، تأثير الأكاسيد المعدنية(Al_2O_3,CuO,TiO_2) على إنتاج الهيدروجين، مذكرة ماستر أكاديمي، ورقلة، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، علوم وتكنولوجية، تخصص هندسة كيميائية، 2021/06/26.

[19] Ahmed S. A. Suleiman, The Rapid Global Growth of Alternative Energy Sources, Journal of Business and Environmental Sciences, Alexandria 21526, Egypt, P 97-99.

[20] Dinçer, İbrahim, and Haris Ishaq. Renewable hydrogen production, Elsevier, 2021

[21] Ait Bachir, Lynda. "Algerian Green Hydrogen Production Opportunities and challenges in light of a sustainable energy system." ,34-13,7, (2021) 4.2 المجلة الدولية للاداء الاقتصادي.

[22] ياسمين بوالجداري، ثورة الهيدروجين الأخضر، النصرالجريدة الجزائرية، 7 فيفري 2023.

[23] Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. A comparative overview of hydrogen production processes. Renewable and sustainable energy reviews, 67, 597-611. (2017).

[24] Devi, Pooja. "Green Energy Harvesting" Materials for Hydrogen Generation and Carbon Dioxide Reduction, First Edition, Published 2023.