

## إنتاج الهيدروجين باستخدام محطة كهروشمسية ذات الغشاء التبادل البوليميري

د. علي محمد علي\*

ناظم خلفان ديب\*\*

(تاريخ الإيداع 4 / 9 / 2016. قُبِلَ للنشر في 12 / 10 / 2016)

### □ ملخص □

إن إنتاج الهيدروجين، كمصدر حامل للطاقة، من خلال التحليل الكهربائي للماء يمكن أن يكون مجدياً اقتصادياً باستخدام الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية. في هذا البحث تم دراسة إنتاج الهيدروجين الشمسي باستخدام محطة كهروشمسية تعتمد على تقانة غشاء التبادل البوليميري صنعت محلياً في كلية الهندسة التقنية بطرطوس. الدراسات التجريبية تم إنجازها بطريقتين مختلفتين: الأولى الربط المباشر لمحطة الهيدروجين مع المنظومة الفوتو فولتية. الطريقة الثانية تم تصميم نظام لمحطة هيدروجين كهروشمسية يتكون من العناصر التالية: مجموعة PV، تعقب نقطة الطاقة القصوى (MPPT)، محول DC-DC، والذي يستخدم لتشغيل النظام على أقصى قدر من طاقة النظام الكهروضوئية في جميع الأوقات لتزويد المحطة بالتيار الكهربائي اللازم، خزان هيدروجين. أظهرت النتائج بان الطريقة الثانية أكثر فعالية وذات كفاءة عالية بالمقارنة مع الطريقة الأولى نظراً لتغير شدة الإشعاع الشمسي خلال اليوم الواحد. تبين النتائج أيضاً أن بعض الإضافات مثل (KOH) يلعب دور مهم في تعزيز عملية التأين للسائل الكتروليتي وتحسين تدفق الهيدروجين.

الكلمات المفتاحية: هيدروجين، محطة، غشاء تبادل البوليميري، خلايا الفوتوفولطية

\* أستاذ. قسم هندسة تقانة الاغذية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.

\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس سورية.

## Hydrogen Production Using Photovoltaic– Electrolyser System Based on Polymeric Exchange Membrane

Dr. Ali M. Ali \*  
Nazim Deeb\*\*

(Received 4 / 9 / 2016. Accepted 12 / 10 / 2016)

### □ ABSTRACT □

Hydrogen production, vector of energy, by water electrolysis can be economically viable by using electrical energy from renewable sources such as photovoltaic solar energy. In this research was the study of solar hydrogen production using electrolyser based on polymeric exchange membrane electrolysis technology manufactured locally at the Faculty of Technical Engineering in Tartous. The experimental studies were achieved in two different methods: the first, direct coupling to the hydrogen electrolyser with PV module. The second method, designed PV-electrolyzer system consists of the following components: PV module, a maximum power point tracker (MPPT), A DC-DC converter, which is used to operate the system at the maximum power of the PV system at all times and to supply the necessary DC current to the electrolyzer, and tank hydrogen. The results showed that the second method more effective and highly efficient when compared with the first method because of the change in the intensity of solar radiation during the day. Also, results show that some additives such as (KOH) play an important role in enhancing the ionization process of the electrolyte liquid and improve process flow

**Key words:** hydrogen, electrolyser, polymeric exchange membrane, PV module

---

\*Professor, Department of Food Technical Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartrous University, Tartrous, Syria.

\*\*Postgraduate Student(Doctoral), Department of Technologies for Renewable Energies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria

**مقدمة:**

يعد الوقود التقليدي أهم مصادر الطاقة كما يعد المصدر الرئيس لاضطراب الحياة المعاصرة بسبب تزايد معدل استهلاكه وارتفاع أسعاره وتوقع استنزافه ونضوب مصادره خلال العقود القليلة القادمة، وتعد نواتج احتراقه المنبعثة إلى الغلاف الجوي (ومنها ثاني أكسيد الكربون) أهم أسباب التلوث البيئي وظاهرة الاحتباس الحراري وارتفاع درجة حرارة الأرض عن معدلها محدثاً تغيرات مناخية تؤثر بشكل سلبي في مجمل الحياة الأحيائية على الأرض [1]. هذه الأسباب جعلت المؤسسات البحثية تسعى لإيجاد بدائل غير ملوثة يمكن إنتاجها بموارد غير ناضبة تلبي متطلبات الحياة من أشكال الطاقة وأحد أهم هذه الخيارات هو الهيدروجين بسبب أن نواتج أكسده أو احتراقه خالية من الملوثات وهي طاقة و بخار ماء [2]. ومن جهة أخرى، فإن طرائق إنتاج الهيدروجين التي تعتمد موارد متجددة تشترك في استعمال الماء والإشعاع الشمسي في إنتاجه وتصنف إلى:

أ- طرائق إنتاج الهيدروجين من الوقود التقليدي وتشمل: التحلل الحراري وإعادة التشكيل بالبخر و

الأكسدة الجزئية لأنواع الوقود المختلفة [3-4]

ب- طرائق إنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية وتشمل: التحلل الحراري الكيميائي (الدورات الحرارية)

وطريقة التحلل الحراري للماء وطريقة التحليل الكهربائي للماء وطريقة التحلل الضوئي الكهروكيميائي للماء والتحلل الضوئي الحيوي والتحلل الضوئي العضوي [5-13].

يعتبر الهيدروجين من أكثر العناصر المخزنة للطاقة في الكون حيث يحتوي على 144.2 كيلو جول لكل وحدة عند الاحتراق على عكس الوقود التقليدي الذي يحتوي على 41.2 كيلو جول لكل وحدة من الطاقة، وبالإمكان إضافته للسيارات مهما كان نوعها أو حجمها أو سنة الصنع لتوفر 50% من الوقود والملوثات وتزويد من قوة السيارة وعمر المحرك بنسبة 30% .

عملياً الماء يتحلل لإعطاء 2 لتر هيدروجين عند 1 امبير مستغرقاً زمن إلى 28 ساعة بينما 55

امبير تكفي لتكوين 2 ليتر هيدروجين خلال نصف ساعة تقريباً . كما يحترق الهيدروجين مع الأكسجين مولداً طاقة قدرها 120 كيلو جول للغرام الواحد من الهيدروجين.

كل لتر هيدروجين يكفي لتوليد طاقة 120000 كيلو جول ويمكن تحويلها الى طاقة كهربائية تقارب

33 كيلو واط / الساعة ( 1 كيلو واط = 3600 كيلو جول ) فإذا كانت نسبة الكفاءة 18% ( ويكيبيديا ) فإن

كمية الكهرباء المنتجة من لتر واحد من الهيدروجين حوالي 6 كيلو وات ساعي

من المنتظر أن يلعب الهيدروجين دوراً ريادياً في مجال الطاقة في المستقبل ، ولاسيما وأن المواد

الأولية لإنتاجه غزيرة، ودائرة إنتاجه واستعماله تمتاز بتوافق عالي مع شروط التنمية المستدامة. وبإمكان نظام طاقي يعتمد على الهيدروجين كحامل طاقي أن يجعل المصادر الطاقية المتجددة في متناول المستهلك.

والتطور التكنولوجي المتزايد الذي نتابعه في مجالات إنتاج الهيدروجين وأساليب تخزينه وطرق نقله وميادين

استعماله سيفرضه حتماً على نطاق واسع. ويتجلى الهيدروجين بخصائص فيزيائية وكيميائية ممتازة تمنحه

صفة المحروق المستقبلي الشامل. الجدول (1): يوضح بعض خصائص الهيدروجين.

الجدول (1): يوضح بعض خصائص الهيدروجين

الكثافات	الكثافة الحجمية (MJ/l)	الكثافة الطاقية الكتلية (MJ/kg)	الكثافة الكتلية ( $\text{kg/m}^3$ )
غاز الهيدروجين (160 bar)	1,76	120,2	14,7
الهيدروجين سائل ( $-253^\circ\text{C}$ )	8,4	120,2	71
غاز الميثان (160 bar)	5,51	50	111
الميثان سائل (160 bar)	21,5	39,1	550
البنزين	32,3	43	720

### أهمية البحث وأهدافه:

إن إنتاج الهيدروجين من مصادر متجددة وخصوصاً من الطاقة الشمسية يفتح آفاقاً واسعة في مجال حماية البيئة و تحقيق التنمية المستدامة، كون الطاقة الشمسية متوفرة يكفي فقط استثمارها بالشكل الأمثل. تمكن أهمية البحث في تطوير تكنولوجيا تصنيع المحطات ذات الغشاء التبادلي البوليميري او ما يعرف (PME) ذات الكفاءات العالية لإنتاج الهيدروجين عن طريق الطاقة الشمسية. ثم بناء نظام كهروضمسي لإنتاج الهيدروجين عن طريق محطة تعتمد على تقانة غشاء التبادل البوليميري صنعت محليا في كلية الهندسة التقنية بطرطوس وتجريبه وتبيان فعاليته وكفاءته.

### طرائق البحث ومواده

1. مكونات نظام إنتاج الهيدروجين الشمسي:

يتكون أساساً نظام إنتاج الهيدروجين الشمسي من: لوح شمسي كهروضوئي، ونظام التبدل من التيار المستمر إلى المستمر، جهاز تتبع نقطة أقصى القدرة، محطة كهربائية، خزان هيدروجين. يبين الشكل (1) مخطط النظام كهروضمسي - محطة المستخدم في عملية التحليل الكهربائي لإنتاج الهيدروجين:



الشكل (1) مخطط النظام الكهروضوئي-محللة المستخدم في عملية إنتاج الهيدروجين .

يتكون النظام من التجهيزات التالية:

1 - لوح شمسي له المواصفات الفنية التالية وفق الجدول (2).

الجدول (2): يوضح المواصفات الفنية للوح الشمسي

Model Type			BSM200M-72	
Solar Cell Type			Mono 125×125 Cell A Grade	
$P_m$	$V_{mp}$	$I_{mp}$	$V_{oc}$	$I_{sc}$
200W	37.5V	5.34A	44.6V	5.80A
Size			1580*808*35mm	
Weight			15.5KG	
Output Tolerance			0 – 3 %	
Standard Test Condition			1000W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25°C	
Operating Temperature			-40°C to +85°C	
Manufacture Warranty			10 years	
Power Performance Warranty			>90% after 15 year, >80% after 25 yea ,	

2 - منظم شحن له المواصفات التالية وفق الجدول (3):

الجدول (3): يوضح المواصفات الفنية لمنظم الشحن

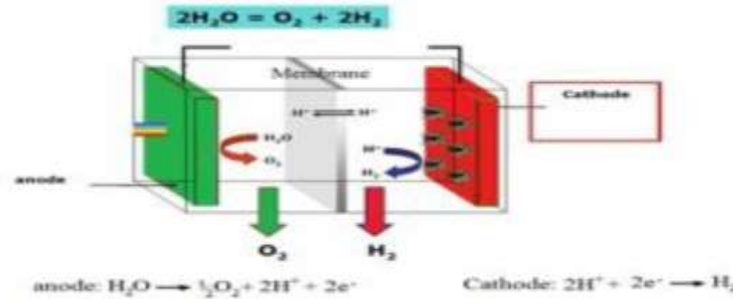
Model: SCC-MPPT 600W
Input: 30Vdc-75Vdc
Input: 24Vdc, 25A
Capacity: 600W

## 3 - بطاريات سائلة لها المواصفات التالية:

Model Type: N150(145G51R)	12 V
Capacity: 150Ah	

## 2. نموذج المحللة:

تتكون المحللة من المكونات التالية: صندوق بلاستيكي شفاف من الأكريليك مع غطاءه، الأقطاب، الوسيط المائي، الغشاء التبادلي البوليميري، أسلاك توصيل نحاسية. المحللة عبارة عن قطبين (صفيحتين) متوازيتين ذات أبعاد ( 5X 5 ) يفصل بينهما غشاء التبادل البوليميري. يمكن تغيير المسافة الفاصلة بين القطبين لتصبح ( 1.5 , 4.5, 7.5, 10cm ). كما في الشكل (2):



الشكل (2): أقطاب محللة من النوع الصفائحي المتوازية

## 1. الوسيط:

حضرت محاليل من الماء المقطر تحوي هيدروكسيد البوتاسيوم بنسبة ( 5, 10, 20, 30 g/l ) حيث تم إضافتها ليغمر أقطاب المحللة. عند توصيل القطب الموجب والسالب إلى مصدر كهرباء مستمر ترتبط شاردة الهيدروجين مع إلكترون عند القطب السالب لينتج غاز الهيدروجين وشاردة الهيدروكسيد تتخلى عن إلكترون عند القطب الموجب ويتكون غاز الأكسجين وتكون كمية الهيدروجين الناتجة ضعف كمية الأكسجين.

## 2. الالكترودات ستانلس ستيل:

تم تأمين صفائح من الستانلس ستيل ( 316 ) من خلال السوق المحلية للعمل كالكترودات ضمن المحللة. ويبين الجدول ( 4 ) التركيب الكيميائي للأقطاب المستخدمة حيث أجري اختبار التحليل الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن في مخبر مقاومة المواد والمعادن بكلية الهندسة التقنية بطرطوس.

جدول ( 4 ) : التركيب الكيميائي للأقطاب المستخدمة

التركيب الكيميائي									السماعة
Fe	C	Cr	Ni	Mo	P	S	Mn	Si	mm
%	%	%	%	%	%	%	%	%	
70.12	0.019	16.1	9.96	2.01	0.02	0.03	1.23	0.4	1.2

## 3. تصنيع غشاء التبادل البوليميري:

تم تصنيع الغشاء وفق التسلسل التالي:

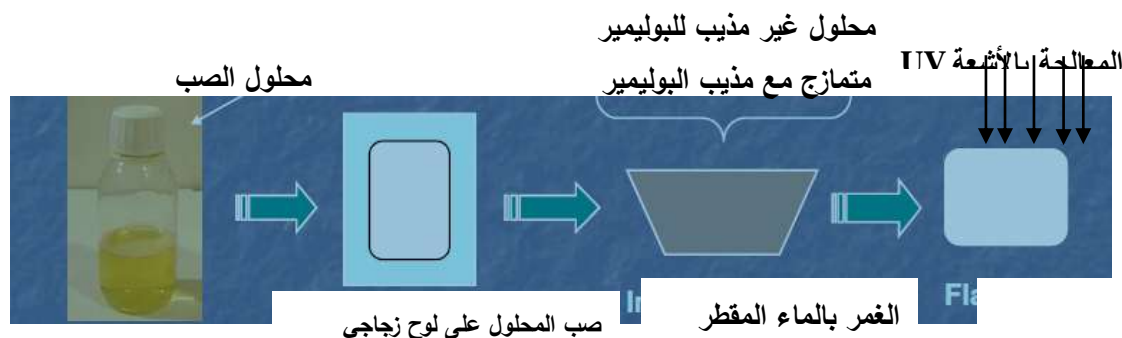
- حلّ (10g) من أسيتات السللوز في (100[ml]) من محلول حمض الخل عند درجة حرارة الغرفة باستخدام مزاج ميكانيكي عند سرعة دوران (290[rpm])، حيث تمّ إضافة أسيتات السللوز بشكلٍ تدريجي إلى المحلول المذيب لتجنّب تجمع البوليمير في كتل تعيق حركة رأس المازج، وتستمر عملية التحريك حتّى تمام الانحلال والتجانس ويستغرق ذلك حوالي (5) ساعات.
- إضافة كل من الغليسيرين (G) وحمض الأكريليك (AA) بالنسب الموضحة بالجدول التالي، واستمرار التحريك عند درجة حرارة الغرفة حتّى تمام التجانس، وتستغرق العملية حوالي نصف ساعة.

جدول (5): يوضح نسب مكونات الغشاء المصنّع

مكونات طبقة القاعدة	النسب الوزنية للمكونات الغشاء
(CA/G/AAC)	(CA <sub>85</sub> /G <sub>5</sub> /AAC <sub>10</sub> )

CA: Cellulose acetate, G: Glycerin, AAC: Acrylic acid

- ترك المحلول لمدة (24) ساعة ضمن دورق زجاجي محكم الإغلاق لتختفي كامل الفقاعات.
- تشكيل الغشاء وذلك بصبّ المحلول الناتج على لوح زجاجي نظيف بمساعدة مديّة صبّ ، ويترك الغشاء لمدة (6) ساعة بحيث تحدث عملية تبخر بطيئة للمذيب (حمض الخل).
- وضع اللوح الزجاجي بعد (6) ساعات من صب المحلول في مغطس للماء المقطر عند درجة الحرارة العادية، بحيث يخرج أي أثر للمذيب من خلال التبادل مع الماء المقطر بما يسمّى عملية الانقلاب الطوري (phase inversion) أو الانفصال الطوري (phase separation).
- تتم معالجة الأغشية الناتجة بجرعات ضوئية مختلفة بحيث تحدث تفاعلات بلمرة لحمض الأكريليك إلى البولي حمض أكريليك، وكذلك تفاعلات تشابك جزيئية للبوليميرات المكونة للغشاء.
- نقل الغشاء المصنّع إلى وعاء يحوي ماء مقطّر لحين إجراء الاختبارات، ويوضح الشكل التالي مراحل هذه العملية:



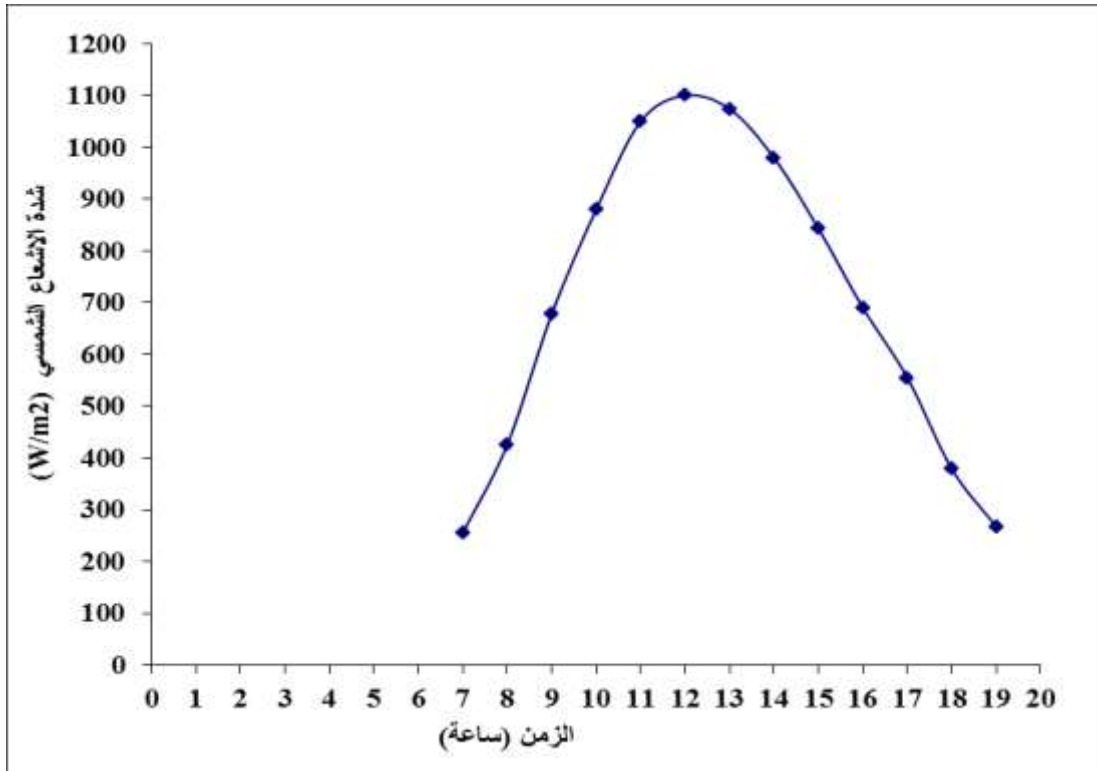
شكل (3): مخطط يبين مراحل تصنيع الغشاء التبادلي البوليميري

## النتائج والمناقشة:

في هذا البحث تم دراسة إنتاج الهيدروجين الشمسي باستخدام المحللة الكهربائية التي تم إنجازها بطريقتين الأولى الربط المباشر لمحللة الهيدروجين مع المنظومة الفوتو فولتية. الطريقة الثانية تم تصميم نظام لمحللة هيدروجين كهروضمسية يتكون من العناصر التالية: مجموعة PV، تعقب نقطة الطاقة القصوى (MPPT)، محول DC-DC. كما سيتم دراسة تأثير المسافة بين الأقطاب على إنتاجية الهيدروجين وتأثير بعض الإضافات على مردود وفعالية المحللة.

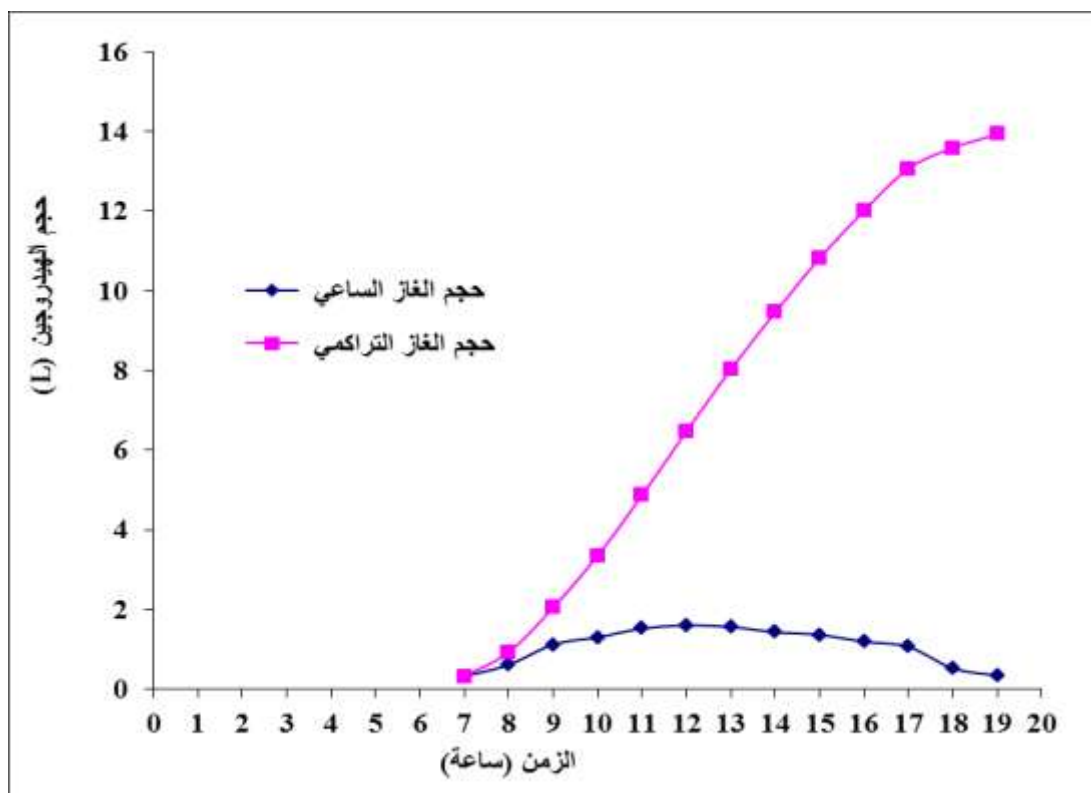
### 1. دراسة إنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام والوصل المباشر:

تم دراسة إنتاجية الهيدروجين وفق الربط المباشر لمحللة الهيدروجين مع اللوح الشمسي. الجدول (6) يوضح قيم شدة الإشعاع الشمسي طوال فترة النهار، جهد حمل المحللة والتيار الكهربائي وحجم غاز الهيدروجين الناتج الساعي والتراكمي أثناء الوصل المباشر. الشكل (4) يمثل العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي مع ساعات النهار. بينما يمثل الشكل (2) العلاقة بين حجم غاز الهيدروجين الناتج الساعي والتراكمي أثناء الوصل المباشر مع ساعات النهار. وكما هو ملاحظ من خلال الجدول (6) والشكل (5) أن حجم غاز الهيدروجين الناتج الساعي يزداد بشكل تصاعدي مع شدة الإشعاع ليصل إلى أعلى قيمة عند الساعة (12) ومن ثم يميل للانخفاض مع الزمن نتيجة انخفاض شدة الإشعاع الشمسي مع تقدم الزمن. ويكل الأحوال فإن حجم الغاز التراكمي يزداد مع تقدم ساعات النهار ويبلغ القيمة (14 لتر) خلال زمن (12 ساعة) أي بمعدل (1.16/ساعة).



الشكل (4) يمثل العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي مع ساعات النهار خلال اليوم





الشكل (5): العلاقة بين حجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي

اثناء الوصل المباشر بتابعية ساعات النهار . المسافة التباعدية بين الأقطاب (1.5 cm) .

الجدول ( 6 ) يوضح قيم شدة الإشعاع الشمسي طوال فترة النهار، جهد حمل المحللة والتيار الكهربائي وحجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي اثناء الوصل المباشر

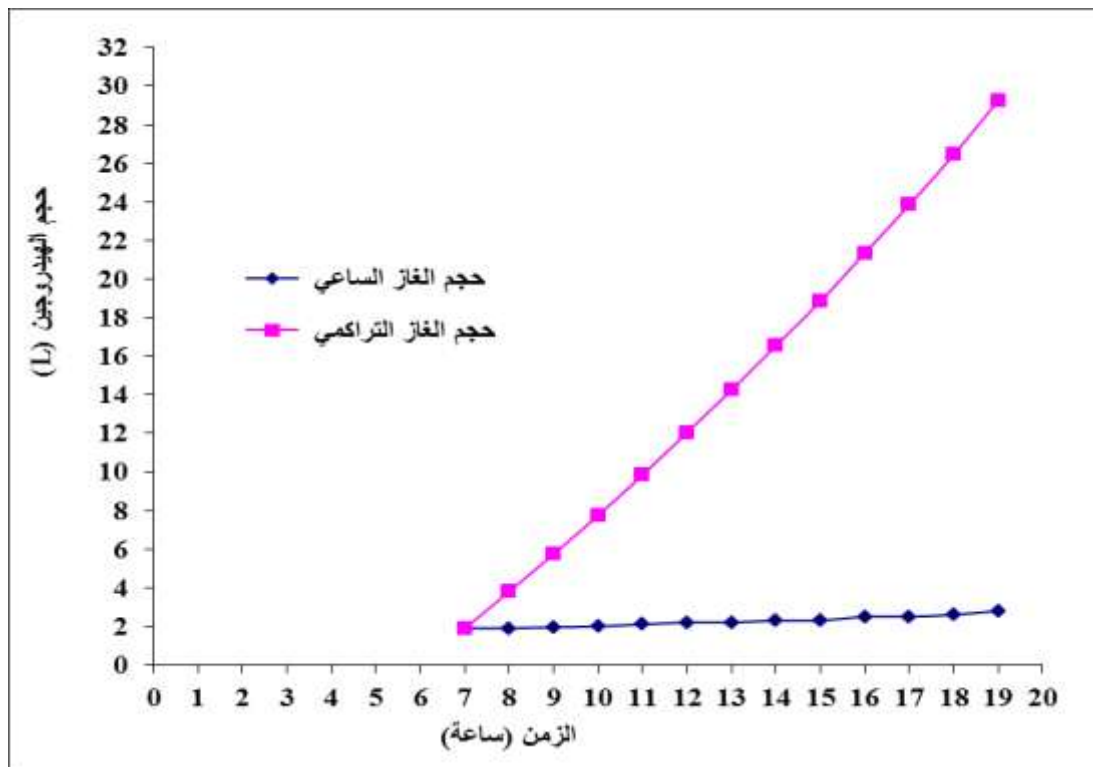
ساعات النهار المسجلة (ساعة)	شدة الاشعاع الشمسي (واط/م <sup>2</sup> )	حجم الغاز الساعي (لتر)	حجم الغاز التراكمي (لتر)	شدة التيار المسحوبة من اللوح (امبير)	جهد المحللة (فولط)
7	255	0.32	0.32	2.11	2
8	426	0.61	0.93	2.96	3.3
9	678	1.12	2.05	4.53	5
10	880	1.3	3.35	4.86	6.1
11	1050	1.52	4.87	5.09	6.4
12	1100	1.6	6.47	5.12	6.5
13	1074	1.56	8.03	5.11	6.45
14	980	1.43	9.46	4.9	6.2
15	843	1.36	10.82	4.74	5.9
16	690	1.19	12.01	4.6	5
17	555	1.06	13.07	4.1	3.96
18	379	0.52	13.59	2.36	2.4
19	267	0.34	13.93	2.12	2.1

## 2. دراسة إنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام:

تم دراسة إنتاجية الهيدروجين وفق الطريقة الثانية عن طريق النظام حيث تم تغذية المحللة من بطارية الشحن الخاصة بالنظام عن طريق محول (DC-DC). الجدول (7) يوضح قيم شدة الإشعاع الشمسي طوال فترة النهار، جهد حمل المحللة والتيار الكهربائي وحجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي. يمثل الشكل (6) العلاقة بين حجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي أثناء الوصل عن طريق النظام. وكما هو ملاحظ من خلال الجدول (7) والشكل (6) أن حجم غاز الهيدروجين الساعي يزداد بشكل طفيف مع تقدم الزمن ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة المحللة مع الزمن حيث أن رفع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة التبريد وبالتالي زيادة تدفق الهيدروجين. وبكل الأحوال فإن حجم الغاز التراكمي يزداد مع تقدم ساعات النهار ويبلغ حوالي (30 لتر) خلال زمن (12 ساعة) أي بمعدل (2.5/ ساعة).

الجدول (7) يوضح قيم شدة الإشعاع الشمسي طوال فترة النهار، جهد حمل المحللة والتيار الكهربائي وحجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي أثناء الوصل عن طريق النظام.

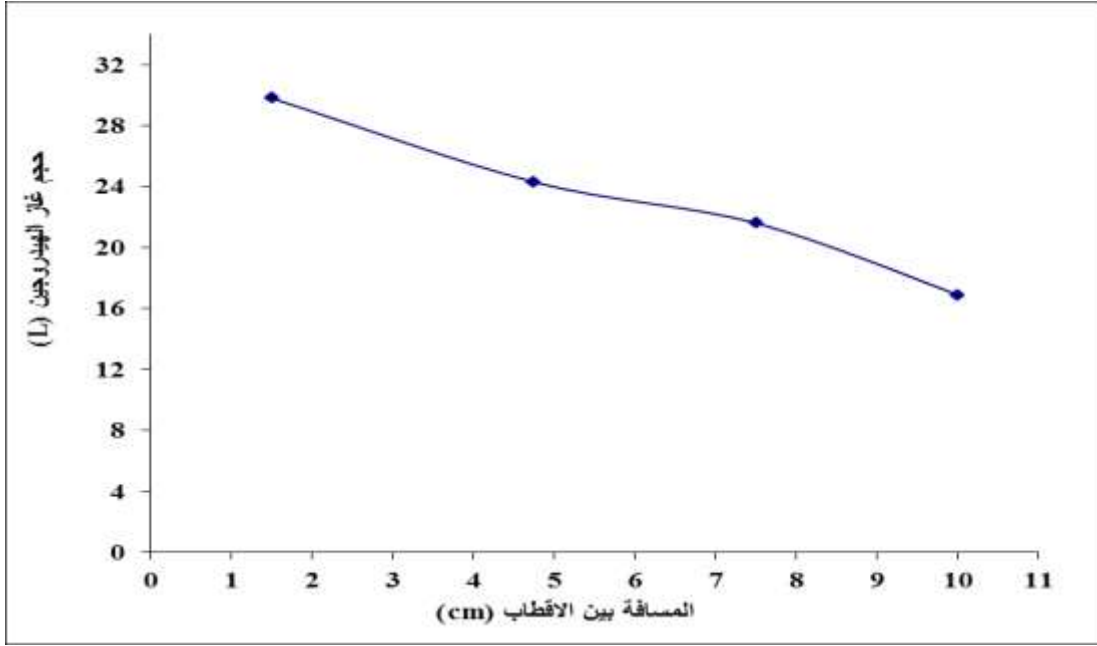
ساعات النهار المسجلة (ساعة)	شدة الإشعاع الشمسي (واط/م <sup>2</sup> )	حجم الغاز الساعي (لتر)	حجم الغاز التراكمي (لتر)	شدة التيار (أمبير)	جهد المحللة (فولط)
7	255	1.9	1.9	5.8	12
8	426	1.9	3.8	6	12
9	678	1.95	5.75	6.3	11.96
10	880	2	7.75	6.8	11.9
11	1050	2.1	9.85	7.1	11.88
12	1100	2.2	12.05	7.6	11.86
13	1074	2.2	14.25	7.9	11.82
14	980	2.3	16.55	8.4	11.8
15	843	2.3	18.85	8.8	11.76
16	690	2.5	21.35	9	11.72
17	555	2.5	23.85	9.3	11.7
18	379	2.6	26.45	9.5	11.63
19	267	2.8	29.25	9.8	11.5



الشكل (6): العلاقة بين حجم غاز الهيدروجين الساعي والتراكمي أثناء الوصل عن طريق النظام بتابعية ساعات النهار .  
المسافة التباعدية بين الأقطاب (1.5 cm) .

### 3. العلاقة بين تباعد الأقطاب وإنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام:

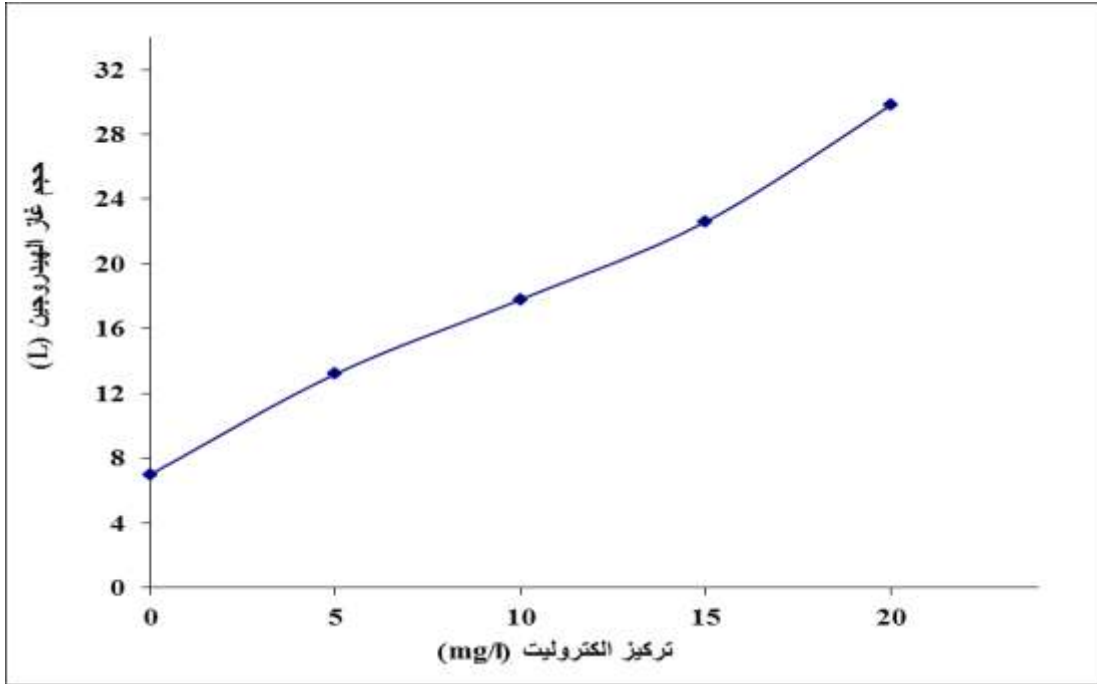
تم دراسة العلاقة بين تباعد الأقطاب و إنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام. والشكل ( 7 ) يمثل العلاق بين حجم غاز الهيدروجين التراكمي أثناء الوصل عن طريق النظام. وكما هو ملاحظ أن حجم غاز الهيدروجين التراكمي يتناقص مع زيادة المسافة بين القطبين. ويعزى ذلك الى انخفاض عملية التبريد كلما ازداد البعد بين الأقطاب وبالتالي انخفاض تدفق الهيدروجين.



شكل (7): العلاقة بين تباعد الأقطاب وإنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام

#### 4. العلاقة بين تركيز السائل الكتروليت وإنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام:

تم دراسة العلاقة بين تركيز السائل الكتروليت وإنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام. والشكل (8) يمثل العلاقة بين حجم غاز الهيدروجين التراكمي أثناء الوصل عن طريق النظام. وكما هو ملاحظ أن حجم غاز الهيدروجين التراكمي يزداد مع زيادة تركيز السائل الكتروليت بين القطبين. ويعزى ذلك إلى زيادة عملية التثريد وبالتالي ازدياد تدفق الهيدروجين.



الشكل (8): العلاقة بين تركيز سائل الكتروليت المحللة وإنتاجية الهيدروجين عن طريق النظام. المسافة التباعدية بين الأقطاب (1.5 cm).

## الاستنتاجات والتوصيات:

1. تم إنتاج الهيدروجين الشمسي باستخدام محللة كهروشمسية تعتمد على تقانة غشاء التبادل البوليميري المصنعة محليا.
2. الدراسات التجريبية تم إنجازها بطريقتين مختلفتين: الأولى الربط المباشر لمحللة الهيدروجين مع المنظومة الفوتو فولتية. والثانية من خلال تصميم نظام متكامل لمحللة هيدروجين كهروشمسية.
3. أظهرت النتائج بأن الطريقة الثانية أكثر فعالية وذات كفاءة عالية بالمقارنة مع الطريقة الأولى نظرا لتغير شدة الإشعاع الشمسي خلال اليوم حيث وصل مروود إنتاج الهيدروجين في المحللة الى ( 2.5 / ساعة) مقارنة مع الطريقة الأولى (الربط المباشر) إلى (1.16 / ساعة).
4. تبين النتائج أن مسافة التباعد الامثل بين الأقطاب ( 1.5 cm ) وكلما ازدادت المسافة بين الأقطاب كلما انخفض تدفق الهيدروجين.
5. يمكن لبعض الإضافات مثل ( KOH ) أن يلعب دور مهم في تعزيز عملية التأين للسائل الكتروليتي وتحسين تدفق الهيدروجين.
6. البحث عن إضافات اخرى يمكن أن تساهم بشكل أكبر في تعزيز عملية التشرد وتحسين تدفق الهيدروجين

## المراجع

- [1]. Solomon, S.; Plattner, G.K.; Knutti, R.; Friedlingstein, P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc. Natl. Acad. Sc. USA* **2009**, *106*, 1704–1709.
- [2]. Midilli, A.; Ay, M.; Dincer, I.; Rosen, M.A. On hydrogen and hydrogen energy strategies I: Current status and needs. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2005, *9*, 255–271.
- [3]. Hou, K.H.; Hughes, R. The kinetics of methane steam reforming over a Ni/alpha-Al<sub>2</sub>O catalyst. *Chem. Eng. J.* **2001**, *82*, 311–328.
- [4]. Czernik, S.; Evans, R.; French, R. Hydrogen from biomass-production by steam reforming of biomass pyrolysis oil. *Catal. Today* **2007** *129*, 265–268.
- [5]. Argonne national laboratory "Basic research needs for solar energy utilization" Report of the basic energy science workshop on solar energy utilization April 18-21, 2005>
- [6]. M. Ni, M.K.H Leung, K. Sumathy and D.Y.C. Leung. 'Potential of Renewable Hydrogen Production for Energy Supply in Hong Kong', International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 31, N°10, pp. 1401 – 1412, 2006.
- [7]. E.I. Zoulias and N. Lymberopoulos, 'Hydrogen-based Autonomous Power Systems, Technoeconomic Analysis of the Integration of Hydrogen in Autonomous Power Systems', Springer- Verlag; London 2008.
- [8]. Steinfeld, A. Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions. *Int. J. Hydrog. Energy* **2002**, *27*, 611–619.
- [9]. Akkerman, I.; Janssen, M.; Rocha, J.; Wijffels, R.H. Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design. *Int. J. Hydrog. Energy* **2002**, *27*, 1195–1208.
- [10]. Das, D.; Veziroglu, T.N. Advances in biological hydrogen production processes. *Int. J. Hydrog. Energy* **2008**, *33*, 6046–6057.

[11]. Khan, S.U.M.; Al-Shahry, M.; Ingler, W.B. Efficient photochemical water splitting by a chemically modified *n*-TiO<sub>2</sub>. *Science* **2002**, *297*, 2243–2245.

[12]. Bak, T.; Nowotny, J.; Rekas, M.; Sorrell, C.C. Photo-electrochemical hydrogen generation from water using solar energy. Materials-related aspects. *Int. J. Hydrog. Energy* **2002**, *27*, 991–1022.

[13]. Li, Y.X.; Lu, G.X.; Li, S.B. Photocatalytic production of hydrogen in single component and mixture systems of electron donors and monitoring adsorption of donors by in situ infrared spectroscopy. *Chemosphere* **2003**, *52*, 843–850.