

دراسة نظرية وتجريبية لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية في مدينة بغداد - العراق

أ.د. صباح طارق أحمد* و حسن فخري محمد رسول**

تاريخ الاستلام: 2009/3/11

تاريخ القبول: 2010/9/2

الخلاصة

أجريت دراسة نظرية وتجريبية لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة الشمسية الذي يعد احد الخيارات الرئيسية لاستعماله كوسيلة لآزن الطاقة واستخدامه كمصدر غير ملوث للبيئة مساند أو بديل عن الوقود التقليدي (الهيدروكربوني)، الدراسة النظرية تضمنت بناء أنموذج رياضي لمنظومة شمسية لإنتاج الهيدروجين لتخمين معدل الإشعاع الشمسي الساقط على لوح مثبت في موقع محدد على سطح الأرض والقدرة الكهربائية المتولدة في لوح من الخلايا الشمسية عند تعرضه لذلك الإشعاع الشمسي وكمية الهيدروجين الذي تنتجه محللة كهربائية عند ظروف محددة، الدراسة التجريبية تضمنت بناء واختبار منظومة شمسية اختبارية لإنتاج الهيدروجين تعتمد طريقة التحليل الكهربائي للمحاليل المائية وتتكون من لوح من الخلايا الشمسية ومحللة كهربائية، أجريت الاختبارات على المنظومة في ساعات النهار لأيام عشوائية، دونت نتائجها العملية وأظهرت بعد دراستها وتحليلها تطابقاً جيداً مع الحسابات النظرية لكل من شدة الإشعاع الشمسي وكمية الهيدروجين المنتج وظهور بعض الانحراف في قيم القدرة الكهربائية المتولدة في لوح الخلايا بسبب إهمال حساب المقاومة الكهربائية للمنظومة، بينت الدراسة إمكانية استخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الهيدروجين واعتماد الأنموذج الرياضي في تخمين أفضل الظروف لزيادة إنتاجية وكفاءة المنظومة.

كلمات مرشدة: طاقة شمسية، تحليل كهربائي للماء، هيدروجين.

Theoretical and Experimental Study of Using Solar Energy to produce Hydrogen (Baghdad-Iraq)

Abstract

A theoretical and experimental study was done about using solar energy to produce Hydrogen; Hydrogen is one of the main options to use as unpolluted fuel for environment and alternative energy instead of traditional fuels.

Theoretical study included mathematical model for Hydrogen-solar system to predict, solar radiation, solar cells electrical power generation and the amount of Hydrogen gas decomposed in an electrolyser at specific condition.

Experimental study included manufacturing and testing of Hydrogen-solar system model, using electrolysis water solution method.

The system consists of a solar cell module and electrolyser which was tested during day's hours of many random days, the analysis study of the experimental results showed good agreement with the theoretical predictions of solar radiation, the amount of generated Hydrogen and small deviation in the solar cell's electrical power because we canceled the electrical resistance of the system.

The study showed the ability of using solar energy to produce Hydrogen and to deduce the best conditions to increase the production and the efficiency of the system.

Keyword: Solar energy, Electrolysis, Hydrogen.

* قسم هندسة المآانن و المعدات، الجامعة التكنولوجية/بغداد
** شركة الفاروق العامة، وزارة الأعمار والإسكان/بغداد

- 1- قائمة الرموز:
- A** الثابت الشهري لحساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر (W/m^2).
- A** المساحة (m^2).
- B** معامل التخميد الجوي.
- C** معامل الإشعاع المنتشر.
- C_f** معامل تصحيح ميل لوح الخلايا.
- E** الجهد الكهربائي للمنظومة (V).
- e_t** معادلة الوقت (min.).
- F** ثابت فرادي (coul./equi.).
- f** الزاوية النسبية بين الأرض و السماء.
- I** شدة الإشعاع الشمسي (W/m^2).
- I** التيار الكهربائي للمنظومة (A).
- kt** دليل جلاء الغلاف الجوي.
- M** الوزن الذري أو الجزيئي (g/mol.).
- m** الكتلة (kg).
- N** عدد المولات (mole).
- n** تسلسل اليوم في السنة.
- P** الضغط (Bar).
- R** الثابت العام للغازات (kJ/mol.K).
- r** متغير شهري لتصحيح قيمة الإشعاع.
- s_c** معامل التكافؤ.
- T** درجة الحرارة ($^{\circ}C$).
- t** الزمن (s).
- V** الحجم (L).
- V** الجهد الكهربائي للمنظومة (V).
- elec.** القدرة الكهربائية (W).
- Z** عدد الكثرونات التفاعل (equi./mol.).
- الرموز اليونانية
- α** الامتصاصية.
- β** زاوية ميل لوح الخلايا (Degree).
- β_{pv}** معامل انخفاض كفاءة الخلية الشمسية ($\% / ^{\circ}C$).
- δ** زاوية الانحراف (الميل) (Degree).
- ϕ** زاوية خط العرض (Degree).
- η** الكفاءة (%).
- κ_p** ثابت التوازن يعتمد الضغوط الجزيئية.
- θ** زاوية سقوط الإشعاع (Degree).
- ρ** الانعكاسية.
- τ** النفاذية.
- $(\tau\alpha)_e$** النفاذية الامتصاصية المؤثرة.
- ω** زاوية الساعة (Degree).
- \bar{g}** معامل تصحيح قيمة الإشعاع لمدينة بغداد.
- الرموز (اللواحق) العليا و السفلى
- a** المحيط (Ambient).
- b** المباشر (Beam).
- c** الخلية (Cell).
- d** المنتشر (Diffuse).
- elec.** الكهرباء (Electric).
- h** الأفقي (Horizontal).
- loc.** الموقع (Location).
- module** لوح الخلايا الشمسية.
- o** الخاصة عند الظروف القياسية.
- o** خارج الغلاف الجوي (Extraterrestrial).
- pv** الفولتائية الضوئية (Photovoltaic).
- st** القياسي (Standard).
- t** الكلي (Total).
- therm.** الحرارية (Thermal).
- z** السمات (Zenith).
- α** الامتصاصية (Absorb).
- r** الانعكاسية (Reflect).
- مصطلحات
- Normal cubic meters (Nm^3) =
0.02628 standard cubic feet (scf)

3- يمكن للهيدروجين أن يكون وسيلة خزن للطاقة المتجددة ذات أمد طويل بديلاً عن الخزانات الحرارية والبطاريات ويجعلها تخرج من تذبذبها ومحدودية استعمالها إذ لا تتأثر خواصه بالخرن كما انه يحاكي نمطية استعمال الوقود التقليدي.

4- استعمال خلية الوقود (fuel cell) كآلية لتحويل الطاقة الكيميائية المخزونة في الهيدروجين دون احتراق أو الحاجة إلى محرك لإنتاج طاقة كهربائية وبدون نواتج ملوثة و بكفاءة اكبر من كفاءة المحركات الحرارية التقليدية لتستخدم بدلاً عنها في وسائل النقل ومحطات توليد الكهرباء.

5- يمكن استعمال الهيدروجين في المحركات الحرارية التقليدية بدل الوقود الهيدروكربوني ويمكن خزنه بشكل غاز أو بشكل سائل تحت ضغط أو تركيبه مع عناصر لمواد أخرى لتكوين مركبات سائلة أو صلبة.[4]

6- بحوث سابقة عديدة اهتمت باستخدام الطاقة الشمسية في إنتاج الهيدروجين منها: في عام 1983 شيدت في بلجيكا محطة شمسية لإنتاج الهيدروجين لغرض خزن الطاقة ولاكتساب الخبرة العملية في تشييد منظومات شمسية تعمل في ظروف صعبة كالمناطق الشمالية الضبابية أو ذات المناخ الملوث بالعوادم الصناعية[5]، وفي عام 1994 قام الباحثون والت ببلي وآخرون في الولايات المتحدة ببناء منظومة منزلية لإنتاج الهيدروجين من الماء وطاقة الإشعاع الشمسي لإستخدامه كمورد لخرن طاقة مساندة غير ناضبة خلال ساعات النهار يستثمر لإنتاج طاقة حرارية وكهربائية عند الحاجة [6]، وفي عام 2001 أنجزت شركة هوندا في مركز البحوث والتطوير في مدينة تورانس بولاية كاليفورنيا بناء محطة بحثية لتجهيز وإنتاج الهيدروجين تعتمد الطاقة الشمسية لغرض اجراء دراسات عن إنتاج وخرن وتجهيز الهيدروجين باستغلال مصادر للطاقة غير ناضبة والمساهمة في دعم وإسناد برامج تطوير السيارات التي تعمل بخلية الوقود وبغاز الهيدروجين

at a standard temperature and pressure of 15.6°C (60°F) and 101.4 kPa (14.7 psi), respectively.

Hydrogen Equivalents: 1 kg H₂ = 423.3 scf gas = 11.126 Nm³ gas = 142 MJ (HHV basis) = 120 MJ (LHV basis).

2- المقدمة

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 الى الغلاف الجوي (ومنها ثاني أكسيد الكربون) أهم أسباب التلوث البيئي وظاهرة الاحتباس الحراري إذ تمتص جزيئاته الإشعاع الشمسي الضوئي ثم تبعثه بشكل إشعاع حراري يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض عن معدلها محدثاً تغيرات مناخية تؤثر بشكل سلبي في مجمل الحياة الاحيائية على الأرض والذي جعل المؤسسات البحثية تسعى لإيجاد بدائل غير ملوثة يمكن إنتاجها بموارد غير ناضبة تلي متطلبات الحياة من أشكال الطاقة وأحد اهم هذه الخيارات هو الهيدروجين بسبب:

1- نواتج أكسدته أو احتراقه خالية من الملوثات و هي طاقة وبخار ماء.
2- طرائق إنتاج الهيدروجين التي تعتمد موارد متجددة تشترك في استعمال الماء والإشعاع الشمسي في إنتاجه أو استخلاصه من أنواع الوقود المختلفة[1] وتصنف الى:
أ- طرائق إنتاج الهيدروجين من الوقود التقليدي وتشمل: التحلل الحراري وإعادة التشكيل بالبخار والأكسدة الجزيئية لأنواع الوقود المختلفة.[2]

ب- طرائق إنتاج الهيدروجين من الماء وتشمل: الطريقة الحرارية الكيميائية (الدورات الحرارية) وطريقة التحلل الحراري للماء و طريقة التحليل الكهربائي للماء وطريقة التحلل الضوئي الكهروكيميائي للماء والطريقة الضوئية الإحيائية.[3]

وأفضل الصيغ لاعتمادها في حساب وتخمين إنتاج المنظومات الشمسية للهيدروجين.

3- الجانب النظري:

يتضمن الأنموذج الرياضي للمنظومة:

$$3.1\text{-تخمين الإشعاع الشمسي [10]:}$$

$$1\text{-حساب زاوية الساعة الشمسية:}$$

$$\omega = (12\text{-solartime}) * 15 \quad \dots(1)$$

$$2\text{-حساب زاوية الانحراف:}$$

$$\delta = -23.45 * \cos[0.986(10.5+n)]$$

(2) ... 3- حساب زاوية سقوط الإشعاع على لوح مستوي أفقي في النصف الشمالي للأرض:

$$\cos\theta_z = (\cos\phi * \cos\delta * \cos\omega) + (\sin\phi * \sin\delta) \quad \dots(3)$$

4-- حساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على لوح متعامد مع اتجاهه عند سطح الأرض:

$$I_b = A * \exp.[-(\xi * B) / (\cos\theta_z)]$$

5 (4) ...- حساب معامل التخمين لمدينة بغداد:

$$\xi = 1 + [r - (1 - \cos\theta_z)] \quad \dots(5)$$

6- حساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على لوح أفقي عند سطح الأرض:

$$I_{bh} = I_b * \cos\theta_z \quad \dots(6)$$

7- حساب شدة الإشعاع الشمسي المنتشر الساقط على لوح عند سطح الأرض:

$$I_d = C * I_b * f \quad \dots(7)$$

8- حساب الزاوية النسبية بين الأرض والسماء:

$$f = (1 + \cos\beta) / 2 \quad \dots(8)$$

9 - حساب شدة الإشعاع الشمسي المنعكس عن السطوح المجاورة الساقط على اللوح:

$$I_p = \rho * I_b * [(C + \cos\theta_z) * (1 - f)] \quad \dots(9)$$

10- حساب شدة الإشعاع الكلي الساقط على لوح أفقي عند سطح الأرض:

$$I_{ht} = (I_{bh} * \cos\theta_z) + I_d + I_p \quad \dots(10)$$

11 - حساب مؤشر الجلاء الجوي الساعي:

$$kt = (I_{ht}) / (I_o * \cos\theta_z) \quad \dots(11)$$

الجدول (1) يتضمن قيم رموز تخمين

يستثمر تشغيل المحطة لتحقيق أساليب أكثر كفاءة للإنتاج واكتساب الخبرة والمعرفة لتطويرها [7]، وفي عام 2005 قدم باحثون أسبان (كاسترو وآخرين) بحثاً تضمن تصميم وبناء منظومة لإنتاج الهيدروجين تعتمد الطاقة الحرارية للإشعاع الشمسي عند درجات حرارة مرتفعة باستعمال مركبات الإشعاع الشمسي لمعالجة الماء أو الهيدروكربونات بمجموعة من الدورات الحرارية الكيمائية مثل دورة أوكسيد الزنك - الزنك ودورة خليط الأوكسيد- الفيرايث لإنتاج الهيدروجين الذي يعد كناقل للطاقة في تطبيقات متعددة مثل خلايا الوقود والإسهام في زيادة وتوفير طاقة غير ملوثة للبيئة وتقليل الاعتماد على الوقود التقليدي [8]، وفي عام 2006 قدم مجموعة من الباحثين الجزائريين (مراوي وآخرين) بحثاً بعنوان "دراسة إنتاج الهيدروجين عند درجات حرارة مرتفعة" تضمنت دراسة إنتاج الهيدروجين بعملية التحليل الكهربائي لبخار الماء في محطة شمسية عند ضغط ودرجات حرارة مرتفعة، أجريت الاختبارات في مواقع متعددة وأظهرت النتائج وجود طاقة شمسية غير مستثمرة جنوب الجزائر [9].

8- الهدف من البحث: من خلال الدراسات والبحوث السابقة وجد ان بالأمكان استغلال الطاقة الشمسية بطرائق مختلفة لإنتاج الهيدروجين واستعماله في خزن الطاقة. في هذا البحث اعتمدت دراسة عملية وتجريبية لبناء وتقويم أداء منظومة تتكون من لوح خلايا شمسية ومحللة كهربائية (مصنعة محلياً) وتعتمد الطاقة الشمسية في توليد الطاقة الكهربائية التي تستعمل في عملية التحليل الكهربائي لمحلول ملحي لإنتاج الهيدروجين، الدراسة النظرية اهتمت بوضع الصيغ والمعادلات الحاكمة لعمل المنظومة وبناء أنموذج رياضي وهندسي لها، وتحليل نتائج الاختبارات العملية للمنظومة ومقارنتها مع الحسابات التخمينية للأنموذج الرياضي لتحديد أنسب الظروف

$$T_c = T_a + C_f [218 + (823 * kt)] [(T_n - 20) / 800] \quad \dots (18)$$

4- حساب معامل تصحيح ميل لوح الخلايا:
 $C_f = 1 - (1.17 * 10^{-4}) * (\varphi - \delta - \beta)^2 \quad \dots (19)$
 5- حساب الكفاءة الكلية للوح الخلايا الشمسية:

$$\eta_{module} = \frac{\dot{W}_{elec}}{(I_t * A_{module})} \quad \dots (20)$$

... جدول (2) يتضمن قيم المعاملات (η^o, T_n, β_{pv}) ($T^o = 25^\circ C$).

3.3- المحطات الكهربائية:
 3.3.1- أنواع محطات الماء الكهربائية:
 1- المحطات القلوية (AK).
 2- محطات البوليمر الصلب (SPE) تعرف أيضا بمحطات غشاء تبادل البروتون (PEME).
 3- محطات الأوكسيد الصلب (SOE) [14].

3.3.2- تخمين أداء محطة كهربائية [15]:
 1- حساب أدنى جهد للتحويل الكهربائي:
 $E = E^o - [(R * T) / (z * F)] * \ln \kappa_p \quad \dots (21)$

2- حساب كتلة وعدد المولات الهيدروجين:
 $m = (M * I * s_c * t) / (z * F) \quad \dots (22)$
 $N = (I * s_c * t) / (z * F)$

3- حساب حجم الهيدروجين:
 $V = [(N * R * T) / P] \quad \dots (24)$
 4- حساب الكفاءة الحرارية العملية للتحويل الكهربائي:

$$\eta_{therm} = [(\Delta G / \Delta H) * (E^o / V)] \quad \dots (25)$$

4- الجانب التجريبي:
 تضمن بناء واختبار منظومة شمسية لإنتاج الهيدروجين تتكون من لوح خلايا شمسية ومحطة كهربائية شكل (1,2):
 4.1- لوح الخلايا الشمسية:

تم استعمال لوح منتج من قبل شركة المنصور لتوليد القدرة الكهربائية للمنظومة ويكون من:

1- الهيكل مصنع من معدن الألمنيوم المغطى بطبقة من أوكسيد الألمنيوم الحافظة

الإشعاع الشمسي (A, B, C, I_o, e_t, r) لمدينة بغداد، تتراوح قيم معامل الانعكاسية (ρ) (0.1-0.7) وكمعدل (0.2). [11]

12- حساب ناتج ضرب نفاذية الغطاء في امتصاصية الخلية [$\rho_d = 0.16(1cover)$]:
 $(\tau\alpha) = (\tau_{glass} * \alpha_c) / [1 - (1 - \alpha_c) * \rho_d]$
 13- حساب ناتج الضرب المؤثر لنفاذية الغطاء الزجاجي في امتصاصية الخلية:

14- حساب شدة الإشعاع الممتص في الخلية الشمسية:
 $(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + [0.27 * (1 - \tau_a)] \quad \dots (13)$

14- حساب شدة الإشعاع الممتص في الخلية الشمسية:
 $I_a = I_t * (\tau\alpha)_e \quad \dots (14)$
 3.2- الخلايا الشمسية: تعرف بالخلايا الكهروضوئية و تشمل تقنيات تحويل طاقة ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية مباشرة.
 3.2.1- تصنيف الخلايا الشمسية:

A- المواد البلورية Crystalline Materials
 1- السليكون أحادي التبلور (Mono-Si)
 2- السليكون متعدد التبلور (Poly-Si)
 3- زرنيخيد الغاليوم (GaAs)

B- مواد الرقائق الخفيفة Thin Film Materials
 1- السليكون غير المتبلور (a-Si)
 2- تلوريد الكادميوم (CdTe)
 3- ثنائي سيلينيد النحاس الانديوم (CuInSe₂) [12] (CIS).

3.2.2- تخمين أداء اللوح الشمسي [13]:
 1- حساب القدرة الكهربائية المتولدة في لوح الخلايا الشمسية:

$$\dot{W}_{elec} = \eta_{pv} * A_{module} * I_a \quad \dots (15)$$

2- حساب الكفاءة التشغيلية للخلية الشمسية:
 $\dot{W}_{elec} = I * V \quad \dots (16)$

3- حساب متوسط درجة حرارة الخلية الشمسية:
 $\eta_{pv} = \eta^o * [1 - \beta_{pv} | T^o - T_c |] \quad \dots (17)$

2- أقطاب المحللة مصنعة من الكربون، مساحتها السطحية (100 cm^2) و متوسط مقاومتها (1Ω).

3- اسطوانة الغاز مصنعة من البلاستيك الشفاف أبعادها: القطر = (125 mm)، العمق = (155mm)، السعة = (1.9L)، السمك = (1mm).

4.3- طريقة عمل المنظومة: عند تعرض لوح الخلايا الشمسية المثبت بشكل أفقي إلى الإشعاع الشمسي خلال النهار، تمتص خلاياه طاقة الإشعاع و تحوله إلى طاقة كهربائية (بشكل جهد و تيار) تستغل لإجراء التحليل و فصل مكونات المحلول المائي في المحللة الكهربائية، حين يصبح الجهد المتولد في لوح الخلايا أكبر من أدنى جهد مطلوب لعملية التحليل ينشأ فرق الجهد بين قطبي المحللة يسمح بمرور التيار خلال المحلول الملحي وبتركيز (30%-NaCl) لينفصل غاز الهيدروجين على القطب السالب (الكاثود) وغاز الكلور على القطب الموجب (الأنود) وتكون محلول هيدروكسيد الصوديوم في حوض التحليل بدل المحلول الملحي.

5- النتائج و المناقشة:

عرض ومناقشة نتائج الاختبارات و مقارنتها مع نتائج الحسابات النظرية للأنموذج الرياضي للمنظومة:

5.1- تغير شدة الإشعاع الشمسي و تغير معدل الطاقة الداخلة للمنظومة:

الشكل (3) يوضح تغير معدلات قيم الطاقة المتاحة متمثلة بشدة الإشعاع الشمسي الساقط على لوح أفقي خلال ساعات النهار لشدة الإشعاع المقاس في هيئة الأنواء الجوية مقارنتاً مع القيم التي تم حسابها نظرياً بالمعادلة (20) و بحدود ($\pm 2-8\%$)، الشكل (4) يوضح التغير في معدل الطاقة الشمسية الداخلة إلى المنظومة (الإشعاع الذي تمتصه الخلايا) و الذي يماثل التغير في شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح الأفقي.

5.2- معدل الطاقة الداخلة و الطاقة الخارجة للوح الخلايا الشمسية:

وهو بشكل متوازي مستطيلات كتلته (7.5kg) وأبعاده (1022*422*40mm).

2- القاعدة مصنعة من صفيحة معدنية مطلية باللون الأبيض مثبت على سطحها العلوي المواجه للشمس (36 cells) خلية ضوئية مرتبة بأربعة صفوف كل صف يحتوي على (9 cells) خلايا سمك القاعدة مع الخلايا و الفراغ البيني (2mm)، الخلايا مبروطة على التوالي كل من قطبي السلسلة المتوالية ترتبط بثنائي بلوري مع موصل ينصف السلسلة المتوالية إلى نصفين كل نصف يحتوي على (18 cells) خلية مجموعة الربط الكهربائي موضوعة في صندوق محكم مزود بعازل يمنع تسرب الماء إلى داخله مثبت على الجهة الخلفية للوح الشمسي.

3- الخلايا الضوئية مصنعة من رقائق السليكون أحادي التبلور (Mono-Si) بشكل أقراص مقطوعة جزئياً.

قطر الخلية الضوئية الواحدة = (100 mm).
مساحة الخلية الواحدة = $(7.742 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$.

المساحة الفعالة (36 خلية) = (0.2787 m^2).

جهد الدائرة المفتوحة للوح (V_{os}) = (20 V).

تيار دائرة القصر للوح (I_{sc}) = (2 A).

القدرة القصوى ($\dot{W}_{\text{elec. Peak}}$) = (30W).

4- الغطاء البيني لوح من الزجاج المقسى يغطي وجه القاعدة الحاملة للخلايا مثبت معها بالهيكل الذي يكون إطار خارجي تفصل بينهما حشوه من المطاط الماص للصدمة سمك اللوح (4 mm).

4.2- المحللة الكهربائية:

المحللة تتكون من الاجزاء الاتية:

1- حوض التحليل مصنع من البلاستيك أبعاده: القطر = (400mm)، العمق = (60mm)، السعة = (7.5L).

يبين الشكل (13) تغير الكفاءة خلال ساعات النهار التي تمثل النسبة بين الطاقة الكهربائية للوح الخلايا الشمسية (الطاقة الخارجة) وطاقة الإشعاع الشمسي الكلي (الطاقة المتاحة) وتراوحت بين (4.09-6.64%) والفرق بين قيم الكفاءة النظرية والعملية ناتج عن تأثير تغير الظروف المناخية الأتية على الكفاءة بسبب زاوية سقوط الإشعاع على اللوح وتأثير توهين الغطاء الزجاجي وارتفاع أو انخفاض درجة حرارة الخلايا عن القيمة القياسية لدرجة الحرارة التشغيلية.

5.5- معدل الطاقة الداخلة إلى المحللة: يبين الشكل (14) معدل الطاقة الكهربائية لكل كيلوغرام-هيدروجين خلال ساعات النهار وتراوحت قيمها (108.88-232.9 kW.hr/kg) ، ويبين الشكل (15) معدل الطاقة الكهربائية لكل متر مكعب-هيدروجين وتراوحت قيمها (8.7-18.2 kW.hr/m³) وهي قيم مرتفعة مقارنة بكفاءة محللة نموذجية وبصيغة القيمة الحرارية العليا للمتر المكعب أو لكل كيلوغرام من الهيدروجين القياسي (kw.hr/Nm³H₂) أو (kW.hr/kg) إذا اعتبرنا كفاءة المحللة تساوي (100%) لتحويل الطاقة الكهربائية إلى هيدروجين فإنها تتطلب طاقة مقدارها (3.54kw.hr/Nm³H₂) أو (39 kW.hr/kg).

5.6- التغير في الكفاءة الحرارية للمحللة: يبين الشكل (16) التغير في الكفاءة الحرارية خلال ساعات النهار والتي تبدأ بالانخفاض كلما اقتربنا من الظهر الشمسي بسبب ارتفاع قيمة الجهد وتراوحت بين (17-36%).

5.7- معدل إنتاجية المحللة الكهربائية: الشكل (17) يبين إنتاجية المحللة الكهربائية الكتلية الساعية والتي تراوحت قيمها (11.94-54.1*10⁻⁶kg/hr) و بمعدل (37.75*10⁻⁶kg/hr) أما الإنتاجية التراكمية الكتلية للمنظومة (452.974*10⁻⁶kg/hr).

الشكل (5) يوضح القيم الساعية للطاقة الشمسية الداخلة إلى لوح الخلايا الشمسية (الإشعاع الممتص) و قيم الطاقة الكهربائية الساعية المتولدة نتيجة ذلك الإشعاع و يوضح الشكل (6) العلاقة بينهما و يمثل ميله قيم الناقلية الامتصاصية المؤثرة $(\tau\alpha)_e$ و نسبة توهين الإشعاع خلال عبوره الغطاء الزجاجي، الشكل (7) يوضح العلاقة بين قيم شدة الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي و الطاقة الكهربائية المتولدة و يمثل ميله قيم الكفاءة الكلية للوح الخلايا الشمسية (η_{module}) ، و يمكن ملاحظة التشابه بين الشكلين (6) و (7) والذي يوضح التماثل بين شكل كل من الطاقة الكلية المتاحة متمثلة بالإشعاع الشمسي الأفقي و الطاقة الداخلة متمثلة بالإشعاع الممتص رغم الاختلاف في قيم كل منهما، وملاحظة أن منحنيات القيم العملية متذبذبة بسبب أن قيم شدة الإشعاع تتغير عند تغير الظروف المناخية الأتية.

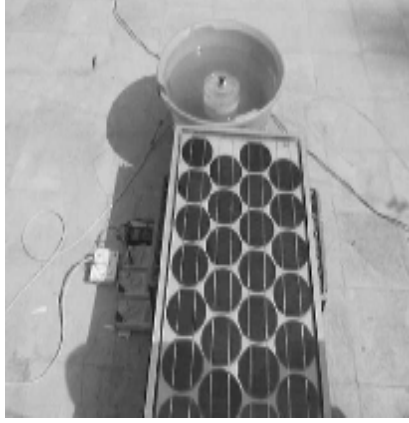
5.3- التغير في القدرة الكهربائية الخارجة من لوح الخلايا الشمسية:

يبين الشكل (8) التغير في القيم العملية للقدرة الكهربائية المتولدة في لوح الخلايا خلال ساعات النهار والتي تراوحت قيمها بين (1.3-12.6 W) ، كما يمكن ملاحظة الفرق بين القيم النظرية و القيم العملية الذي يمثل خسائر المنظومة نتيجة وجود مقاومة كهربائية في الأسلاك و الأقطاب و المحلول تراوحت (6-12.8 Ω) ، وبلغ متوسط قيمة مقاومة المنظومة (8Ω) القدرة الكهربائية المتولدة تتكون من الجهد والتيار الكهربائيين والشكل (9) يبين قيم الجهد الكهربائي للوح الخلايا خلال ساعات النهار وتراوحت بين (4.1-12.6 V) ، ويبين الشكل (10) قيم التيار الكهربائي للوح الخلايا خلال ساعات النهار وتراوحت بين (0.32-1.45 A) ، الشكل (11) يبين العلاقة بين القدرة الكهربائية وجهد لوح الخلايا، الشكل (12) يبين العلاقة بين القدرة الكهربائية والتيار المتولد في لوح الخلايا.

5.4- التغير في كفاءة لوح الخلايا الشمسية:

- and further education division, Macmillan publishers ltd 1985
- [3] 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.
- [4] Walsh F.C. "Electrochemical technology for environmental treatment and clean energy conversion" Pure Appl. Chem., Vol.73 No. 12 pp. 1819-1837, 2001.
- [5] Solar energy R and D in the European community "Photovoltaic power generation" proceedings of the EC contractors meeting held in Hamburg/Pellworm, 12-13 July 1983-Series (C) Vol.4 D.Reidel publishing company Dordrecht, Holland.
- [6] Walt Pyle, Jim Healy, and Reynaldo Cortez "Solar Hydrogen Production by electrolysis" Home Power #39. February /March 1994.
- [7] Worldwide Hydrogen Fueling Stations "Honda Solar Hydrogen Refueling Station" (<http://www.fuelcells.org/info/charts/h2fuelingstations>).
- [8] Castro A., Gallardo V., Moreno E., Fernandez V., and Marcos M.D. "Hydrogen generation from high-temperature thermal solar energy" Proceeding, international Hydrogen energy congress and exhibition ihc 2005 Istanbul, Turkey, July 2005.
- [9] Rachid Miri and Sofiane Mraoui "Electrolyte process of Hydrogen production by solar energy" Desalination 206 (2007) pp.69-77 (<http://www.elever.com/locate/desal>).
- [10] John A. Duffie and William A. Beckman "Solar energy thermal processes" Awiley-Interscience Publication 1974.
- (kg/day) و هي منخفضة، و يبين الشكل (18) الإنتاجية الحجمية و تراوحت (0.15-0.69 L/hr) وبمعدل (0.482 L/hr) أما الإنتاجية التراكمية الحجمية فبلغت (5.744 L/day).
- 5.8- تحديد أدنى جهد عملي لعملية التحليل: بلغ أدنى جهد عملي تتم فيه عملية التحليل ويتم فيه إنتاج الهيدروجين (1.82V) مقارنة بالجهد القياسي النظري (1.78V).
- 6- الاستنتاجات:**
- 6.1- الجهد المناسب لعملية التحليل بحدود (2.5V - 2) والعلاقة بين الجهد و المقاومة الكهربائية للمنظومة علاقة عكسية وغير خطية إذ تزداد المقاومة كلما إنخفض الجهد.
- 6.2- يمكن زيادة إنتاجية وكفاءة المنظومة عند نفس القيم الإختبارية للقدرة الكهربائية وعند جهد (2V) لتصبح قيمة الطاقة المستعملة في المحللة (53.6kW.hr/kg) (4.38kW.hr/m³) والكفاءة الحرارية لعملية التحليل (74%) ومعدل إنتاجية المنظومة الكتالية الساعية (149*10⁻⁶kg/hr) و الحجمية (1.829L/hr) والإنتاجية التراكمية الكتالية (1787.775*10⁻⁶kg/day) والحجمية (21.948L/day).
- 6.3- التحول التدريجي لعملية التحليل الكهربائي من طريقة المحلول الملحي الى طريقة المحلول القاعدي بسبب تكون هيدروكسيد الصوديوم أحد نواتج عملية التحليل الكهربائي بدل المحلول الملحي لكوريد الصوديوم.
- 7- المصادر:**
- [1] Chunshan Soug "Overview of Hydrogen production options for Hydrogen energy development, fuel-cell fuel processing and mitigation of CO₂emissions" Proc. 20th international Pittsburgh coal conference, step. 15-19, 2003, Pittsburgh, pa, USA paper No. 3-40 (Hydrogen from coal).
- [2] Eric Goodger and Ray Vere "A vitiation fuels technology" Higher

American society for engineering
education.



شكل (1) المنظومة الشمسية الاختبارية
لإنتاج الهيدروجين.

[11] عبد الهادي نعمة خليفة "تقطير المياه
باستخدام برج تبريد و مجمع شمسي مسطح"
رسالة ماجستير مقدمة إلى الجامعة
التكنولوجية قسم هندسة المكائن و المعدات.

[12]Olivia Mah "Fundamentals of
photovoltaic materials" National solar
power research institute,
inc.21/12/1998.

[13]Satinder Pal SING and S.
ASHOK "The development of a
portable hybrid system simulation
model" Advances in energy research
(AER-2006).

[14]Sinith, A.F.G. and Newborough,
M. "Low-cost polymer electrolyser
implementation scenarios for carbon
abatement" Heriot-Watt University,
Edinburgh eh144as November 2004.

[15]Suzann S. Fenton, Vijay Ramani,
and James M. Fenton "Active
learning of chemical engineering
principles, using a solar panel, water
electrolyzer, fuel cell system"
Proceedings of the 2004 American
society for engineering annual
conference and exposition © 2004,

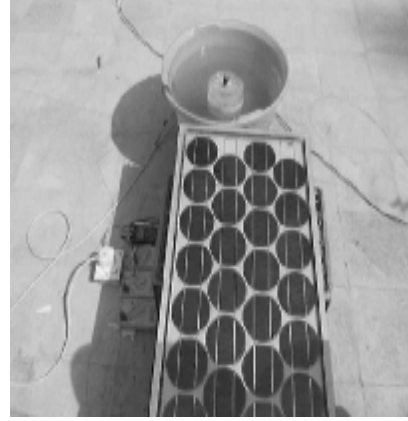
h Symb	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
A	1230	1213	1186	1135	1104	1088	1085	1107	1152	1192	1220	1233
B	0.142	0.144	0.156	0.18	0.196	0.205	0.207	0.201	0.177	0.16	0.149	0.142
C	0.058	0.06	0.074	0.097	0.121	0.134	0.136	0.122	0.092	0.073	0.063	0.057
e_t	-11.2	-13.4	-7.5	1.1	3.3	-1.4	-6.2	-2.4	7.5	15.4	13.8	1.6
I_0	1396	1384	1364	1341	1321	1310	1311	1324	1345	1367	1388	1398
r	2.15	2.05	1.925	1.75	1.6	1.512	1.462	1.487	1.587	1.736	1.975	2.05

جدول (1) المعدل الشهري
لتخمين شدة الإشعاع الشمسي
اعتماداً على اليوم 21st من كل
شهر [11].

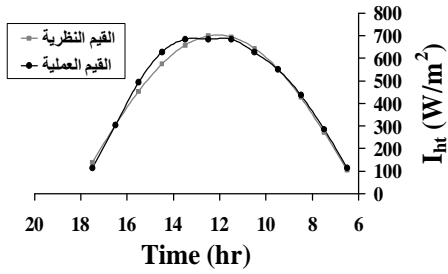
جدول (2) معاملات تخمين الاداء
لألواح الخلايا الشمسية القياسية

PV module type	η^0 (%)	T_n (NOCT) (°C)	β_{PV} (% / °C)
Mono-Si	13.0	45	0.40
Poly-Si	11.0	45	0.40
a-Si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

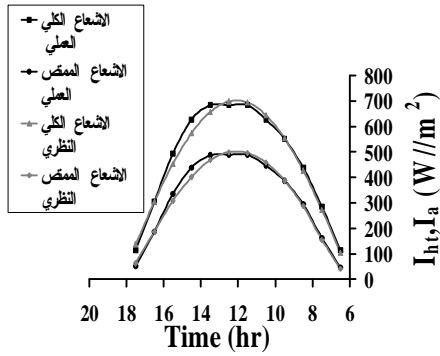
احادية الارتباط. [13]



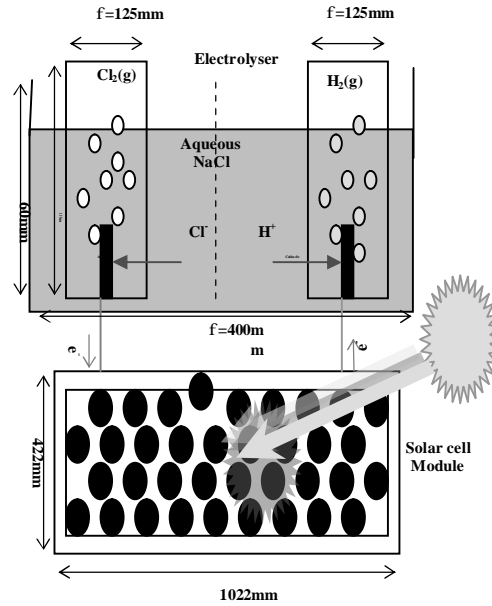
شكل (1) المنظومة الشمسية الاختبارية لإنتاج الهيدروجين.



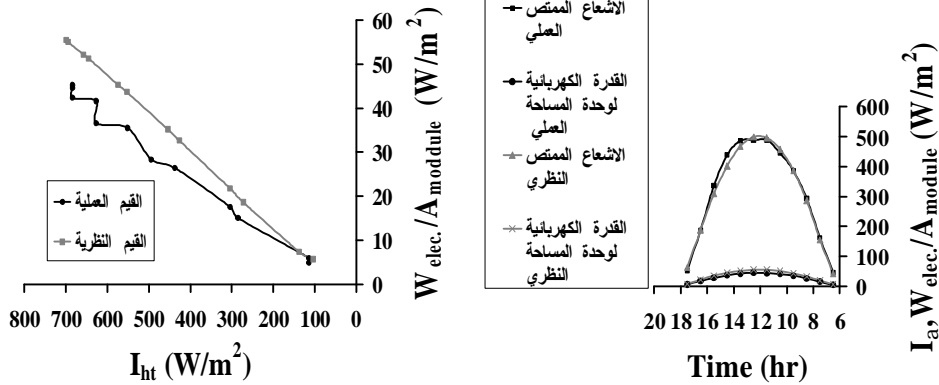
شكل (3) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي الأفقي وساعات النهار.



شكل (4) العلاقة بين كل من شدة الإشعاع الشمسي الأفقي و الممتص وساعات النهار.

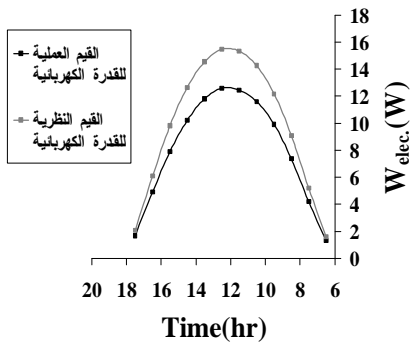


شكل (2) مخطط للمنظومة الاختبارية.

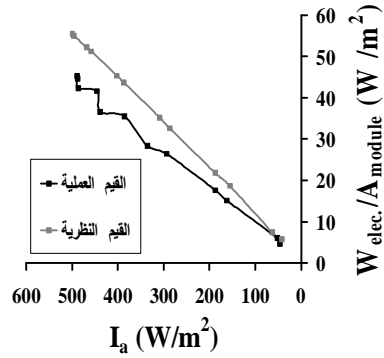


شكل (7) العلاقة بين القدرة الكهربائية للوح الخلايا والإشعاع الشمسي الأفقي.

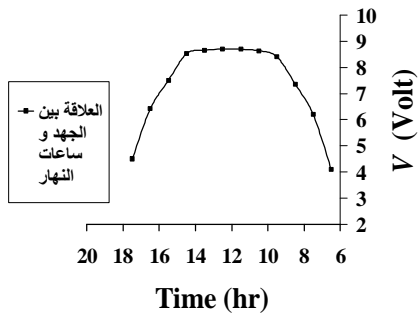
شكل (5) العلاقة بين الإشعاع الشمسي الممتص والقدرة الكهربائية للوح الخلايا وساعات النهار.



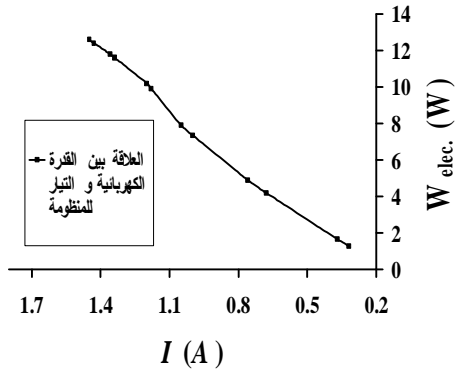
شكل (8) العلاقة بين القيم العملية والنظرية للقدرة الكهربائية للوح الخلايا وساعات النهار.



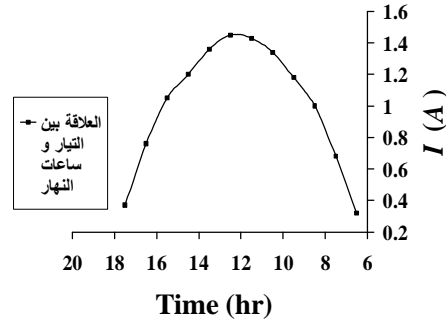
شكل (6) العلاقة بين القدرة الكهربائية للوح الخلايا والإشعاع الممتص.



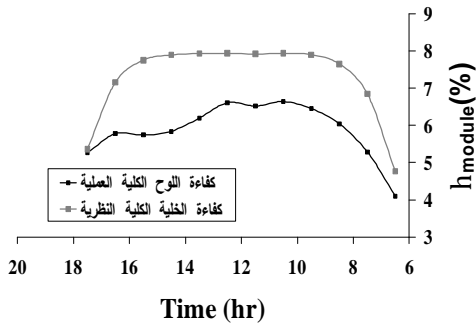
شكل (9) العلاقة بين الجهد الكهربائي للمنظومة وساعات النهار.



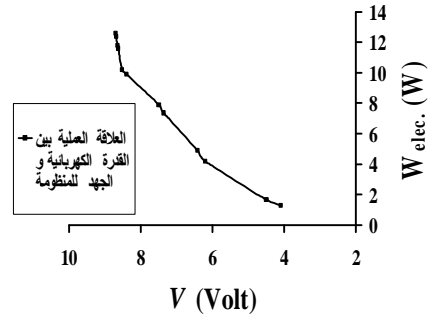
شكل (12) العلاقة بين القدرة الكهربائية للمنظومة والتيار الكهربائي.



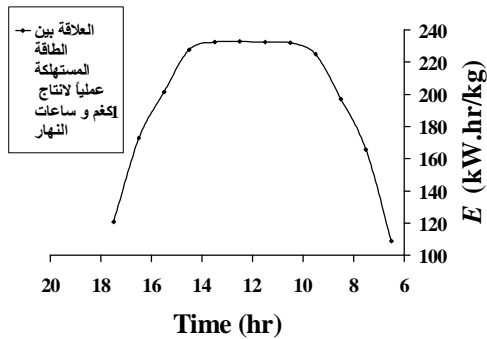
شكل (10) العلاقة بين التيار الكهربائي للمنظومة وساعات النهار.



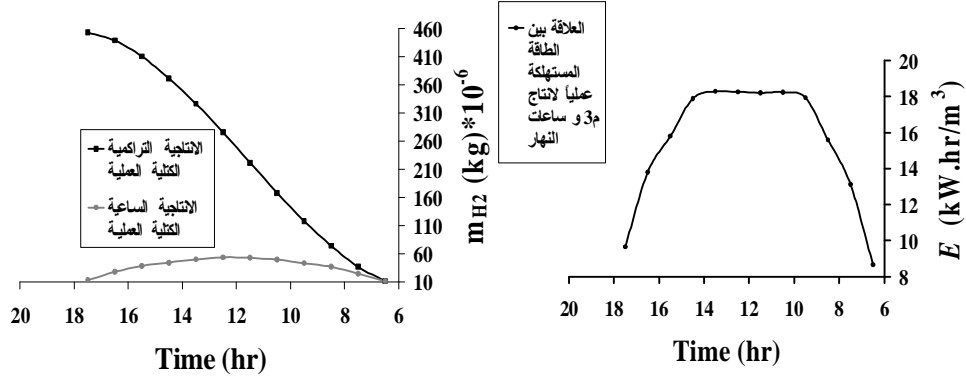
شكل (13) العلاقة بين قيم الكفاءة الكلية للوح الخلايا وساعات النهار.



شكل (11) العلاقة بين القدرة الكهربائية للمنظومة والجهد الكهربائي.

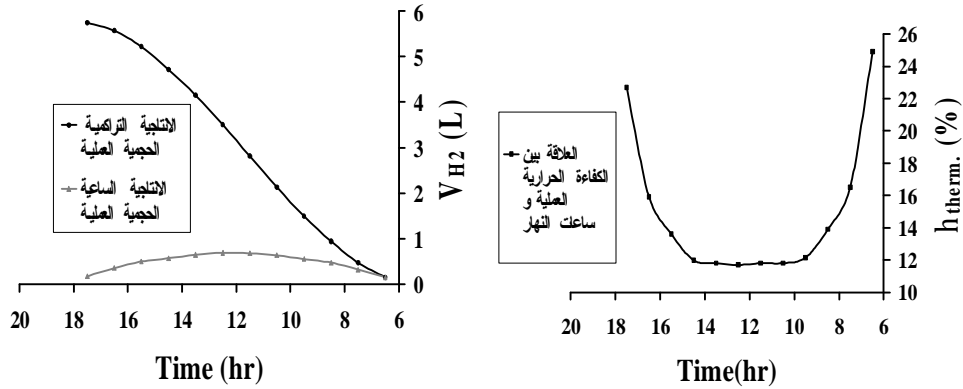


شكل (14) العلاقة بين الطاقة المستخدمة في المنظومة لإنتاج (kg) من الهيدروجين وساعات النهار.



شكل (15) العلاقة بين الطاقة المستخدمة في المنظومة لإنتاج (m³) من الهيدروجين وساعات النهار.

شكل (17) العلاقة بين كل من الانتاجية الكتلية التراكمية والساعية والانتاجية للساعية والكتلية للنظومة وساعات النهار.



شكل (16) العلاقة بين الكفاءة الحرارية للمحللة وساعات النهار.

شكل (18) العلاقة بين كل من الانتاجية الحجمية التراكمية والساعية والانتاجية للساعية والحجمية للنظومة وساعات النهار.