مقارنة اقتصادية لتغذية حمل معزول باستخدام خلايا شمسية مدخرات أو خلايا وقود

المهندس سيد محمد حسين موسوي*

الأستاذ الدكتور المهندس هاشم ورقوزق**

الدكتور المهندس محمودالأحمد***

الملخص

نظراً للطلب المتزايد على الطاقة ومحدودية منابع الطاقة الأحفورية لابد من التوجه إلى استخدام منابع الطاقة المتجددة الريحية والشمسية، يتوفر في سورية طاقة شمسية تصل إلى $4.5\ kWh/m^2.day$ كقيمة متوسطة، مع إمكانية قيام محطات عديدة في الأراضي الجافة والمجاورة للمدينة. تركز العديد من البحوث العالمية على إنتاج الهيدروجين من الطاقة الشمسية وتخزينه وإعادة استخدامه في خلايا الوقود لتحويل الهيدروجين إلى طاقة كهربائية. تستخدم هذه المجموعة بدلاً عن التخزين في المدخرات الكهربائية وإعادة تزويد الحمل عند الضرورة. تتناول هذه الورقة دراسة تغذية حمل بالطاقة الكهروضوئية بطريقتين، الأولى: خلايا شمسية مدخرات -معرجات، والثانية: استخدام خلايا شمسية خلايا وقود ومعرجات. تم مقارنة كفاءتهما الاقتصادية في موقع جغرافي محدد (كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية جامعة دمشق)، مع استخدم برنامج هامرHOMER لنمذجة هذه الأنظمة، وقد أجريت هذه الدراسة في بعض البلدان كالولايات المتحدة والدول الاروبية وطُبِّقَ هذا البرنامج وفق الشروط الملائمة للبيئة السورية.

*أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس سيد محمد حسين موسوي بإشراف الأستاذ الدكتور هاشم ورقوزق ومشاركة الدكتور محمود الأحمد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة دمشق.

** أستاذ قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة دمشق.

*** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الكهربائية -جامعة نبراسكا الأمريكية.

1 مقدمة:

تستخدم النظم الكهروضوئية عادةً وفق ثلاثة أنماط :

1-1- النظم الكهروضوئية المرتبطة بالشبكة الكهربائية وهو نظام كهروضوئي مكون من خلايا كهروضوئية باستطاعة كبيرة أوصغيرة ونظام إلكتروني يقوم باستجرار الطاقة الأعظمية من الخلايا وغالباً تعمل على تحويل الجهد المستمر الناتج من الخلايا إلى جهد متناوب، وإجراء تزامن مع توتر الشبكة العامة للربط عليها.[2][4]

1-2- النظم الكهروضوئية الهجينة التي تتكون من لواقط كهروضوئية ومدخرات ومجموعة ديزل وعنفات ريحية (في حال توافر رياح كافية). يتم برمجة وتوقيت عمل هذه الأنظمة معاً بواسطة دارات تحكم متطورة لهذه الغاية. فضلاً عن ضرورة وجود أجهزة للحماية والربط والمراقبة والقياس.

1-3- النظم الكهروضوئية المستقلة عن الشبكة العامة وهي إما أن تضم الخلايا الكهروضوئية ومنظم شحن ومدخرات ومعرج(Inverter) وحمل، أم أن تتضمن الخلايا الكهروضوئية وجهاز تحليل كهرومائي ليحلل الماء إلى هيدروجين وأوكسجين وجهاز ضاغط لضغط غاز الهيدروجين في خزانات خاصة واعتماد خلايا وقود هيدروجينية (Fuel cells) ومعرج وحمل، هذا النظام يستخدم غالباً في المناطق التي لايوجد فيها شبكة كهربائية. في هذه البحث سنقوم بالدراسة الفنية والاقتصادية لكلا النوعين السابقين لتغذية حمل ثابت وذلك باستخدام برنامج هامرHomer وسنحاول اختصار مكونات هذا النظام كما يلي:

2 - الخلايا الشمسية: Photovoltaic

الخصائص الكهربائية الأكثر أهمية للخلايا الشمسية هي: تيار القصر Isc، توتر الدارة المفتوحة Voc و نقطة الاستطاعة العظمى. هذه الخصائص تابعة لدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي. تقدم الشركات دائما بيانات الأداء للخلايا الشمسية، ويبيّن الجدول(1) أمثلة لبعض النماذج المصنعة من شركات عالمية معروفة.

SUNPOWER	SUNPOWER	bp solar	bp solar
SPR-130 (135Wp)	SPR-90 (100Wp)	BP 3125 (125W)	BP 380J (80W)
from Cleversolar	from Cleversolar	12V	12V
Made in Europe	Made in Europe	Voltage at Pmax 17.6V	Voltage at Pmax 17.6V
Max Power Voltage 18.28V	Max Power Voltage 17.83V	Current at Pmax 7.1A	Current at Pmax 4.55A
Max Power Current 7.32A	Max Power Current 5.4A	Weight : 12.0 kg	Weight : 9.5 kg
Dimensions 1002*796*35mm	Dimensions 1037*527*40mm	Dimensions 1610*874*50mm	Dimensions 1204*537*50mm
Weight: 12.0 kg	Weight: 7.4 kg	inc VAT	inc VAT
inc VAT	inc VAT	MoQ = 1	MoQ = 1
MoQ = 2	MoQ = 1		

يبيّن الجدول (1) أمثلة على بيانات الأداء لنماذج من الخلايا الشمسية .

3 - المعرج و دارات تنظيم التوتر: Inverter and regulator Voltage

النظام الالكتروني الذي يربط الخلايا الشمسية بالحمل، يتكون من منظم إلكتروني غالباً رافع للتوتر Boost Converter يعمل على توتر خرج الخلايا الشمسية، خرج هذا المنظم يمكن تطبيقه على المعرج Inverter لتحويل التوتر المستمر إلى توتر متناوب قابل لتغذية الحمل أو الربط على الشبكة العامة. استطاعة هذه الأنظمة يجب أن تكون كافية لتحمل حالات تغير الاستطاعة العابرة في الحمل وحماية الخلايا الشمسية من هذه الحالات.[5]

4 - المدخرات الكهربائية :Batteries

الغاية الأساسية من استخدام المدخرات الكهربائية في الأنظمة الكهرضوئية تعني بكل بساطة تأمين التغذية الكهربائية الضرورية للأحمال في أثناء فترات الليل أو خلال الأوقات التي يكون فيها الإشعاع الشمسي ضعيفًا بسبب الغيوم أو حتى معدوماً في بعض الأحيان لذلك على المدخرات الكهربائية أن تغذي الأحمال أحياناً عدة ساعات أو أيام. لحل هذه المعضلة

يمكن أخذ عدة استراتيجيات بالحسبان منها تقسيم الأحمال من حيث الأهمية بحيث يمكن التخلي عن أحمال الدرجة الثانية أو الثالثة إن لزم الأمر، بإجراء دراسة دقيقة وعلى مدى عدة أعوام يمكن حساب عدد أيام غياب الشمس المتتالي في الموقع المدروس والتي قد توفر الكثير من المال في تحديد سعة المدخرات الكهربائية وتعطي وثوقية أكبر للنظام.

على الرغم من ذلك لا يوجد إلى الآن معايير ومواصفات محددة عالية لتحديد حجم المدخرات الكهربائية، هناك علاقة تقريبية لحساب سعة المدخرات اللازم إرفاقها بالنظام المعزول عن الشبكة.[1]

5 - التحليل الكهربائي للماء : Electrolysis of Water

تشكل طريقة التحليل الكهربائي للماء 4% من كامل إنتاج الهيدروجين في العالم وهي طريقة مكلفة مقارنة بالطرائق الأخرى، إلا أنَّ هذه التقنية تولد هيدروجيناً ذا نقاوة عالية جداً ويتم التحليل الكهربائي باستخدام التيار المستمر الناتج عن الخلايا الشمسية مباشرة، يتجمع غاز الهيدروجين الناتج في أثناء عملية التحليل الكهربائي للماء من جهة المهبط، في حين يتجمع غاز الأكسجين عند المصعد حيث يؤخذ غاز الهيدروجين عبر ضاغط إلى خزان الهيدروجين. التوتر اللازم في هذه التقنية لتجزئة ذرة الماء(H_2O) هو Volt (1.229 + 0.252) ولإنتاج متر مكعب من غاز H2 يلزم 0.8 لتر ماء و($4.5\ KW/m^3$) من الطاقة الكهربائية. يبيّن الشكل(1) جهاز التحليل الكهربائي للماء من نوع EV05/10 . يعمل الجهاز بالماء القلوي من إنتاج شركة HYDROTECHNIK الألمانية باستطاعةkW 5 ويحتوي على عشر غرف تجزئة وعند التشغيل الاسمي يعمل بتيار 250 أمبيراً و25 فولتاً وهو قادر على إنتاج واحد متر مكعب من غاز الهيدروجين في الساعة بظروف عمل ($0\ C^0$ &1.013bar) وبمردود 70%.[10][6]

يبيّن الشكل(1) جهاز التحليل الكهربائي للماء من نوع EV05/10.

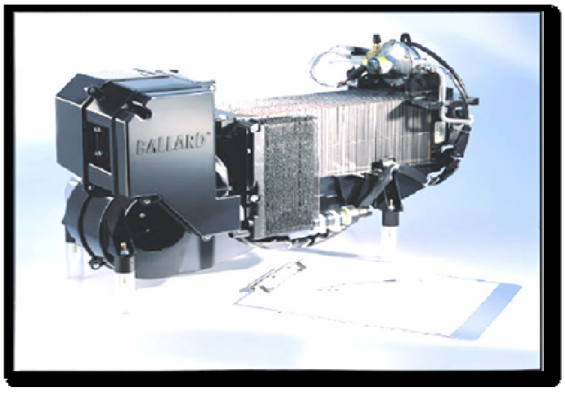
6 - خزان الهيدروجين: Hydrogen Tank

يعدُّ تخزين الهيدروجين إحدى ميزات استخدام هذه التقنية لأنه يبقى مخزناً مدة أطول ودون فاقد نتيجة التخزين بعكس عملية تخزين الكهرباء في المدخرات الكهربائية التي فيها فقد ذاتي. إن كثافة الطاقة في واحدة الكتلة للهيدروجين عالية جداً لكن كثافة الطاقة في واحدة الحجم قليلة لهذا للحصول على الطاقة اللازمة يجب تأمين حجم تخزين كبير. لذا يتم تخزين الهيدروجين على شكل سائل أو صلب، إن تخزين الهيدروجين على شكل غاز هو أسهل طرائق التخزين المتاحة حالياً كما أنّ هناك أبحاثاً تعمل على تخزين الهيدروجين في الصخور. [6]

7- **جهاز خلايا الوقود :Fuel Cells**

يستخدم الهيدروجين في خلايا الوقود الهيدروجينية لإنتاج الكهرباء بمردود عالٍ يصل حتى 70% دون أن يتسبب بأي تلوث بيئي، وخلايا الوقود هي جهاز كهروكيميائي يحول الطاقة الكيميائية للوقود إلى

كهرباء. يضخ غاز الهيدروجين (الوقود) في المصعد (Anode) وغاز الأوكسيجين (الهواء) في المهبط (Cathode) بشكل مستمر وبضغط اسمي مدروس يعمل عليه جهاز خلايا الوقود، التفاعلات الكهروكيميائية في الأقطاب تسبب اختلاف الكمون بينها وعند وصل هذه الأقطاب عبر حمل خارجي يسري التيارالكهربائي ويتم اختيار استطاعة جهاز خلايا الوقود استناداً إلى أكبر استطاعة يستجرها الحمل. يبيّن الشكل (2) جهاز خلايا وقود موديل Nexa1200 باستطاعة 1.2 KW من نوع خلايا الوقود ذات الغشاء البليميري من شركة BALLARD الكندية بمردود %(38-50) ومدة العمل 1500 ساعة بشكل مستمرأو500 مرة تشغيل وإطفاء. [6] [10][7]



يبيّن الشكل(2) جهاز خلايا الوقود الهيدروجيني موديل Nexa1200 باستطاعة 1.2 KW.

8 - تحديد كمية الاستهلاك(الأحمال): LOADS

لمعرفة محددات النظام مثل سعة المدخرات الكهربائية، والمعرج وخلايا الوقود علينا القيام بالحسابات انطلاقاً من استطاعة الحمل، لذا بفرض أن لدينا حملاً ثابتاً ضمن بناء مكون من خمس غرف صالة اجتماعات وغرفة مغاسل وحديقة خارجية واستناداً إلى مساحة المكاتب فرضنا أن عدد اللمبات المستخدمة كما في الجدول (2) وبفرض أن الموقع المدروس هو كلية هـــ.م.ك. جامعة دمشق حُدِّدَ خط العرض وخط الطول الجغرافي وهي 33.25 و 45 درجة.

الجدول(2) يبيّن الاستهلاك اليومي للبناء في أحد أيام الشهر التاسع(فرضاً).

نوع الاستهلاك	الاستطاعة (W) (وات×عدد)	الفترة الزمنية (hr/day)	الطاقة المستهلكة (Wh/days)	التوضيحات
إضاءة الغرف	3×40	7	840	6 مساءً حتى 1صباحا
إضاءة الصالة	2×40	7	560	6 مساءً حتى 1صباحا
أجهزة الحاسوب والطابعة	200	4	800	
براد 19قدم	300	-	1140	----
إضاءة خارج البناء	2×40	11	880	7 مساءً حتى 6 صباحا
تلفزيون 19 أنش و ستالايت	85	10	850	
إضاءة المرافق	4×18	7	504	
استهلاك الأعظمي	574	الاستهلاك الكلي	5574 Wh/day	

هنا فرضنا أنه في كل غرفة اســتخدمنا 7 مــصابيح باستطاعة 40 واتاً وجهاز حاسوب مع طابعة والتــي تعمل 8 ساعات يومياً وغرفة المغاسل استخدم فيها 4 لمبات توفير استطاعة كل واحدة 18واطاً وفي نهاية الدوام لإنارة الساحة الخارجية استُخدِمَ مصباحان 40 واتاً لكل مصباح بناءً عليه أصــبحت القــدرة الكليــة المطلوبة (Wh/day)5574 .

8-1- تضرب الاستطاعة الناتجة بعامل (1.2) لتغطية الضياعات في النظام خلال عمليات الشحن والتفريغ.

$$5574 \times 1.2 = 6689 \text{ (Wh/day)}$$

8-2- يحدد توتر المدخرات الكهربائية المقترح استخدامها بـــ 24 فولتاً كتوترمستمر للنظام.

بناءً عليه فإن التيار المطلوب من المدخرات كمتوسط

يكون مساوياً:

$$6689 \div 24 = 280 \text{ (Ah/day)}$$

8-3- المدخرات الكهربائية ستقوم بدور الخزان إذْ إنّها ستحتفظ بشحنتها التي اكتسبتها خلال وجود الإشعاع الشمسي لتقوم بتغذية الأحمال خلال غياب الشمس، ندخل عدد الأيام الأقصى في المنطقة المدروسة التي تغيب فيها الشمس بسبب الغيوم وعوامل الطقس، وبناءً عليه نحسب استطاعة التخزين اللازمة، وبفرض أننا اعتمدنا ثلاثة أيام ونصف مدة عدم سطوع يكون لدينا:

$$3.5 \times 280 = 980 \text{ (Ah)}$$

وهذه القيمة هي التيار الاسمي للمدخرات.

8-4- ندخل النسبة المئوية لعمق التفريغ الذاتي للبطاريات أي النسبة المسموح بها للتفريغ فإذا سحبنا من البطارية أكثر من 80 بالمئة من شحنتها مرات متكررة فإنَّ هذا سيسرع بإتلافها ولكن أيضا عملية سحب نسبة مئوية قليلة يعني احتياجنا عدداً أكبر من المدخرات الكهربائية وهذا يعني زيادة في التكاليف.

باعتماد مدخرات من نوع Battery Niroo1 بتيار اسمي 100 Ah وتوتر 12 V وعمق تفريغ 80% نحصل على الأمبير المطلوب من المدخرات.

$$980 \div 0.80 = 1225 \text{ (Ah)}$$

8-5- اعتماداً على مواصفات البطارية المطلوبة 1225 (Ah) ولمَّا كانت سعة المدخرة الواحدة 100 Ah يكون عدد المدخرات المطلوب 12 مدخرة.

$$1225 \div 100 = 12$$

8-6- لمّا كان التوتر الاسمي للنظام هو24V و توتر البطارية التي تم اختيارها في البند(8-4) وهو 12V فإن عدد المدخرات الكهربائية التي سيتم وصلها على التسلسل (series) سيكون 2 مدخرة.

$$24 \div 12 = 2$$

8-7- العدد الكلي للمدخرات سيكون: 24 مدخرة

8-8- لتحديد مواصفات الخلايا الشمسية P.V اللازم استخدامها بعد أن حددنا الأمبير الساعي المطلوب لشحن المدخرات و هو (280 Ah) في اليوم، بفرض أن عدد ساعات السطوع الشمسي هو 6 ساعات يومياً وأن مردود المعرج هو 90%، وبناءً عليه نجد أن التيار المطلوب من الخلايا الشمسية هو: [1]

$$(280 \div 6) \times \%90 = 53 \text{ A}$$

8-9- بناءً على ما سبق عملنا على اختيار نموذج من الخلايا الشمسية نوع Kyocera KC120 باستطاعة 120 واتاً وبالمواصفات (Vm=16.9 V &Im=7.1 A). ولمّا كان I_m=7.1 A فإن عدد الموديولات الواجب ربطها على التفرع هو:

$$53 \div 7.1 = 8$$

نظراً إلى كون توتر نقطة الاستطاعة العظمى MPP للموديول 16.9V فإن هذه القيمة كافية ليعمل على توتر 12V لكن يلزم ربط 2 موديول على التسلسل لتحقيق توتر 24V وبذلك يكون عدد الموديولات الإجمالي 16 موديولاً، والاستطاعة الكلية لمنظومة الخلايا الشمسية ستكون مساوية:

$$120 \text{ (W)} \times 16 = 1920 \text{ W}$$

8-10- لحساب استطاعة جهاز خلايا الوقود نعتمد على الاستطاعة العظمى التي يستجرها الحمل وهي كما حسبت في الجدول (2) تقريبا 1KWh.

8-11- لحساب كمية الهيدروجين اللازم إنتاجها لتغذية الحمل خلال مدة غياب الشمس ننطلق من الاستطاعة الكلية التي يحتاجها الحمل وهي 980 Ah

كمية الهيدروجين اللازم خلال ثانية تعطى من العلاقة:

$$H_2 = 1.05\times10^{-8}\times A \qquad \frac{kg}{\sec}$$

وبناءً عليه نجد كمية الهيدروجين المطلوبة يومياً:

$$H_2 = 1.05\times10^{-8}\times980\times3600 = 2.226 \qquad kg$$

في بعض المراجع يضرب الناتج بعامل استخدام الوقود $U_f = (70-85)\%$ **(**Fuel Utilization**)**.[14]

بناءً عليه يلزم تأمين جهاز تحليل كهربائي وجهاز ضاغط لتخزين غاز الهيدروجين يتسع لهذه الكمية من الغاز.

9 - التعريف ببرنامج هامر:HOMER

يستخدم هذا البرنامج لتمثيل الأنظمة الهجينة ولإجراء الدراسات الفنية والمردود الاقتصادي، ويقدم البرنامج نتائج مضمونه ومقبولة من قبل الأوساط العلمية إن الكثير من المقالات المنشورة اعتمدت على هذا البرنامج في دراساتها، صنع وطور هذا البرنامج لدراسة كيفية الاستخدام الافضل لاستهلاك الطاقة في الأنظمة الهجينة في مخابر الطاقات المتجددة في الولايات المتحدة الأمريكية[1].[11,15]

يدرس برنامج هامرHOMER السلوك الفيزيائي والكلفة الاقتصادية (كلفة الإنشاء والاستخدام) لأنظمة الطاقات المتجددة وينمذجها ويُمكن المستخدم من دراسة ومقارنة عدة طرائق مختلفة لتامين الطاقة المستهلكة ومقارنتها فنياً واقتصادياً يعمل برنامج هامرHOMER على ثلاثة محاور أساسية وهي:

- ✓النمذجة.
- ✓الاختيار الأمثل لاستهلاك الطاقة.
- ✓تحليل نتائج التصميم المنمذج اعتماداً على منبع الطاقة ونوعية المستهلك وذلك في كل ساعة في من ساعات العام الواحد.

لنمذجة نظام يحتوي على خلايا شمسية في برنامج هامر HOMER يجب إدخال شدة الإشعاع الشمسي للمنطقة المدروسة، ويمكن إدخال هذه المعلومات بأربع طرائق مختلفة:

الاول: متوسط الإشعاع الشمسي خلال ساعة على سطح أفقي.

الثاني: متوسط الإشعاع الشمسي خلال شهرعلى سطح أفقي.

الثالث: متوسط الشفافية خلال الشهر، وهي نسبة متوسط الإشعاع الشمسي خلال شهرعلى سطح الأرض على شدة الإشعاع الشمسي خلال شهر على الغلاف الجوي وهو مقدار ذو قيمة تتراوح بين الصفر والواحد وهو يبيّن مقدار شفافية الجو.

الرابع: إدخال المعلومات يدوياً في البرنامج.

لذا للحصول على هذه المعلومات يمكن إدخالها مباشرة في البرنامج أو إدخال إحداثيات الموقع ووصل الجهاز بالإنترنيت يقوم بتحصيل هذه المعلومات وحفظها.

لحساب دورة عمراستخدام النظام يعتمد برنامج هامرHOMER على معادلة NPC[2] (التكاليف الحالية الصافية)، وهذه الدراسة تشمل التكاليف الإنشائية والصيانة الدورية والوقود والتعرفة الكهربائية للشبكة العامة المستخدمة في النظام المدروس وضريبة تلوث البيئية التي تفرضها الحكومات وتعرفة الكهرباء المبيعة للشبكة. يشارفي طريقة NPC إلى التكاليف بإشارة موجبة والإنتاج بإشارة سالبة، برنامج هامر

[1]. National Renewable System Modeling (NREL)

2. Net Present Cost

يحسب كل التكاليف والمردود بأسعار ثابتة خلال العام ويجب إدخال التضخم السنوي. كما أوضحنا هذا البرنامج قادر أن يدرس كل الطرائق الممكنة التي تعطي أعلى كفاءة اقتصادية وعملية ويعرضها حسب NPC ولذا يتيح للمستخدم اختيار الطريقة المثلى التي تناسبه لاختيارمحددات النظام، إذْ إنَّ معامل NPC يحسب على الشكل الآتي.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot.}}{CRF(i, R_{proj.})}$$

$$CRF(i, R_{proj.}) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

إذْ:

C_{NPC} : معامل التكاليف الحالية الصافية NPC.

$C_{ann,tot.}$:مجموع التكاليف السنوية لكل أجزاء النظام فضلاً عن تكاليف أخرى(بناء مكان للمدخرات).

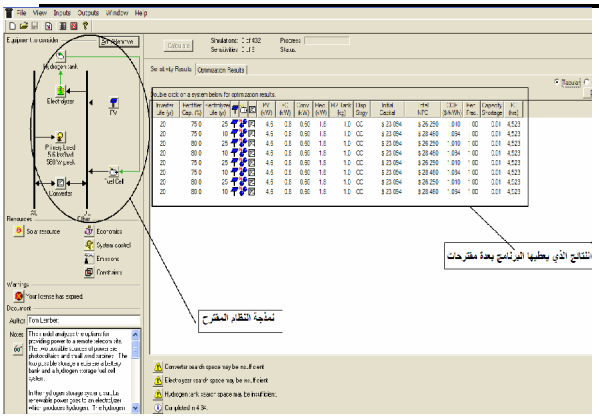
i :الفائدة السنوية للمبلغ المرصود.

N : عمر النظام.

الأسعار التي سنعتمدها هي حسب القيم الواردة إلينا من قبل الشركات والأسواق الداخلية، إذْ إنَّ سعر الخلايا الشمسية لكل وات 2.64$ باعتبار التسليم ميناء طرطوس.[12]

في الأسواق المحلية سعر البطاريات ذات 100 أمبير ساعي وعمر عشر سنين هو 200 دولار.[13]

سعر خلايا الوقود كل كيلوات ساعي 3000 دولار.
سعر خزان الهيدروجين 200 دولار بسعة 1kg وسعر المحلل الكهربائي للمياه 1400 دولار لكل جهازباستطاعة 750 وات.[9][10][13]



يبيّن الشكل(3) واجهة برنامج هامر الذي يوضح شكل النظام المستخدم والنتائج الذي يعطيها.

10 - الدراسة الفنية والاقتصادية لنظام كهروشمسي مستقل عن الشبكة العامة باستخدام برنامج هامرHOMER:

استخدمنا برنامج هامر لدراسة نظام مكون من خلايا شمسية بطاريات معرج حمل، و نظام ثان مكون من خلايا شمسية جهاز تحليل كهرومائي - خلايا وقود - معرج حمل ، إذِ إنَّ الحمل هو عبارة عن بناء سكني كما وضح في الفقرة (8) وسنعمل على إدخال المعلومات الأولية لهذا البرنامج ليقوم بنمذجة النظامين وتحليل النتائج الفنية والاقتصادية وسنقوم بدراسة النظامين في الفقرات الآتية:

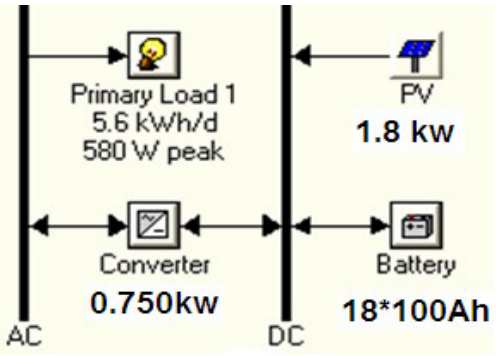
10 -1- دراسة نظام خلايا شمسية ــ مدخرات كهربائية:

في هذا النظام توصل الخلايا الشمسية مباشرة إلى المدخرات الكهربائية ويأخذ المستهلك الطاقة الكهربائية من المدخرات الكهربائية أوعبر النظام الالكتروني (Boost-Inverter) كما مبيّن في الشكل(4).

في هذه الدراسة التكلفة حسبت باعتبار نظام مستقل عن الشبكة العامة وبعمر افتراضي قدره عشرون سنة عمر المدخرات الكهربائية عشر سنين ونحتاج

إلى تبديلها مرة واحدة، عمر المعـــرج اتخذ من عمر الخلايا الشمسية نفس وهو عشرون عاماً، أُهمِلَتْ تكاليف نصب الألواح الشمسية والتمديدات الكهربائية ومكان تركيب المدخرات الكهربائية بالنسبة إلى التكاليف الكلية.

للقيام بتحقيق الدراسة الفنية والاقتصادية قمنا بإدخال البيانات المدروسة عن وحدة الخلايا الشمسية ووحدة المدخرات الكهربائية، ووحدة المعرج نوع Sunny Boy الألماني الصنع وأيضاً محددات الطول والعرض للموقع، والعمر المفيد للمنظومة ومتوسط الفوائد السنوية للمبلغ المرصود، ومقدار انبعاثات الغازات المضرة بالبيئة والاستهلاك اليومي من الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية. في برنامج هامر كل الحالات الممكنة ستنمذج ثم سترتب حسب معادلة NPC لتصل في النهاية إلى الشكل القابل للتنفيذ والذي يحقق أقل NPC ليقترح للمستخدم كتصميم أمثل.[11]



يبيّن الشكل (4) نمذجة نظام مستقل مكون من خلايا شمسية ــ بطاريات -مبدلات الكترونية -حمل.

قمنا بنمذجة النظام المبيّن بالشكل (4) والـــذي يمثـــل أفضل تصميم اقتصادي لنظام مـــستقل عـــن الـــشبكة العامة وتبيّن النتائج أننا بحاجة إلـــى 1.8KW مـــن الخلايا شمـــسية، و18 بطاريـــة (100Ah) ومعـــرج باستطاعة 0.75kW. التكلفة الإجمالية خـــلال كامـــل عمر النظام 11355$ دولار منها 51% ثمن الخلايـــا الشمسية.

سيكون سعر الكيلووات الساعي باختيار هذا النظام 0.436$/kWh ما يعادل 20 ليرة سورية لكل وات ساعي (حيث اتخذ سعر الدولار 46 ليرة سورية) وتبيّن الجداول والأشكال التالية نتائج نمذجة هذا النظام.

الجدول (3) التكاليف لكل جزء من أجزاء النظام

Component	Initial Capital ($)	Annualized Capital ($/yr)	Annualized Replacement ($/yr)	Annual O&M ($/yr)	Annual Fuel ($/yr)	Total Annualized ($/yr)
PV Array	6864	537	0	0	0	537
Battery	3600	282	191	0	0	473
Converter	563	44	0	0	0	44
Totals	11027	863	191	0	0	1054

يبيّن الجدول (3) التكاليف لكل جزء من أجزاء النظام.

الجدول (4) الخصائص الفنية لنظام خلايا الشمسية المستقل عن الشبكة العامة

Compound	Variable	Value
Photovoltaic	Average output	9.36kWh/day
	Minimum output	0.00 kW
	Maximum output	1.92 kW
	Solar penetration	168 %
	Capacity factor	21.7 %
	Hours of operation	4386 hr/year
Battery	Battery throughput	1768 kWh/year
	Battery life	10.0 year
	Battery autonomy	65.0 hours

يبيّن الجدول (4) الخصائص الفنيـــة لنظـــام خلايـــا الشمسية المستقل عن الشبكة العامة.

الجدول (5) كمية الكهرباء المنتجة من النظام خلال عام كامل.

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	4129	100%
Total	4129	100%

يبيّن الجدول (5) كمية الكهرباء المنتجة من النظام خلال عام كامل.

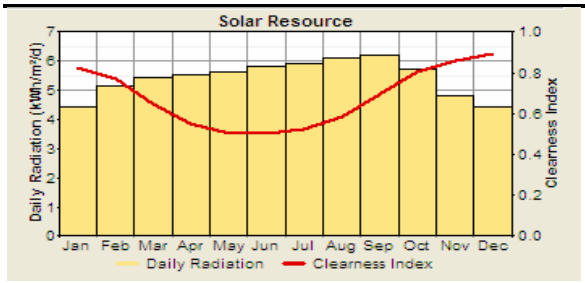
الجدول (6) الاستهلاك السنوي للحمل

Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
AC primary load	2037	100%
Total	2037	100%

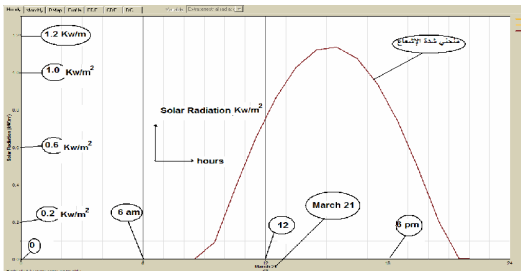
يبيّن الجدول (6) الاستهلاك السنوي للحمل.

يعطي برنامج هامر فضلاً عن النتائج العددية أشكالاً بيانية بألوان متعددة، تمكن الباحث من دراسة النتائج وتحليلها بدقة أكثر كما توضح الأشكال الآتية:

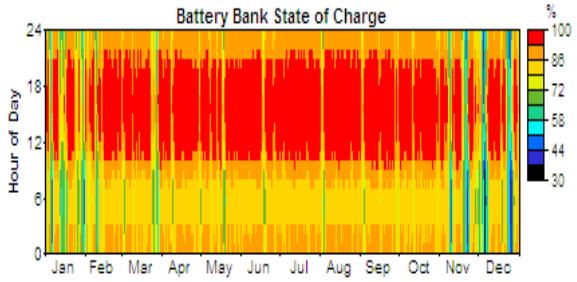
- ❖ يوضح الشكل (5) معدل الإشعاع الشمسي المعتمد خلال أشهر السنة ومعدل متوسط الشفافية لكل شهر وهكذا يمكننا من رؤية شدة الإشعاع في أي يوم من نختاره في السنة كما في الشكل (6).
- ❖ يبيّن الشكل (7) معدل شحن المدخرات خلال أيام أشهر السنة حسب الألوان، وعندما تكون مشحونة كاملةً يكون اللون أحمر، وعندما تكون السماء غائمة عدة أيام ويتم تغذية الحمل من المدخرات يتحول اللون إلى أزرق غامق بسبب تفريغها.
- ❖ يبيّن الشكل (8) معدل الاستطاعة المولدة Kw من النظام الكهروضوئي خلال أيام أشهر السنة.
- ❖ يبيّن الشكل (9) قيمة الاستطاعة المولدة من الخلايا الشمسية خلال أيام أشهر السنة حسب الألوان، إذْ عندما تكون السماء غائمةً تكاد تكون الاستطاعة المولدة معدومة وهذا يبيّنه اللون الأزرق الغامق، وفي أثناء الليل يدل اللون الأسود على عدم إنتاج أي استطاعة من الخلايا الشمسية.



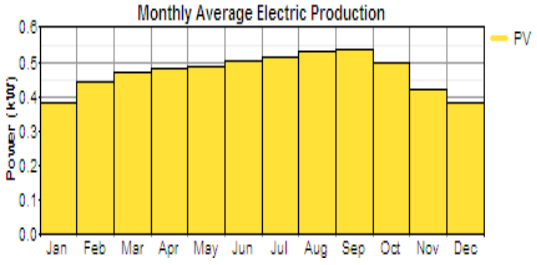
يبيّن الشكل (5) معدل الإشعاع الشمسي المعتمد خلال أشهر السنة ومعدل متوسط الشفافية لكل شهر.



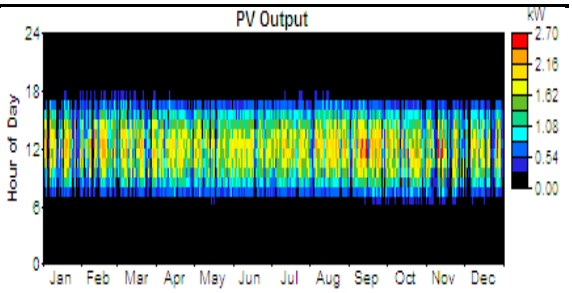
يبيّن الشكل (6) الإشعاع الشمسي ليوم واحد(21/مارس).



يبيّن الشكل (7) معدل شحن المدخرات خلال أيام أشهر السنة.



يبيّن الشكل (8) الاستطاعة المولدة Kw من النظام الكهروضوئي خلال أشهرالسنة.



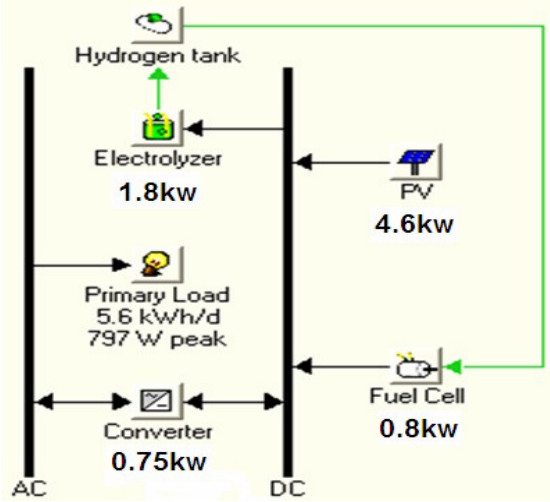
يبيّن الشكل (9) قيمة الاستطاعة المولدة من الخلايا الشمسية خلال أيام أشهر.

10 -2- دراسة نظام خلايا شمسية ــ تحليل الكهربائي ــ خلايا الوقود:

غاز الهيدروجين المستخدم في خلايا الوقود يمكنه أن يخزن ويعاد استخدامه عند فترات عدم وجود الإشعاع الشمسي.

في هذا النظام تقوم الخلايا الشمسية بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية في الأيام المشمسة وتؤمن الطاقة الكهربائية إلى الأحمال وإلى جهاز التحليل الكهرومائي الذي يعمل على تحليل الماء إلى هيدروجين وأوكسيجين، ويتم تخزين الهيدروجين عبر جهاز الضغط إلى خزان الهيدروجين ليستخدم في خلايا الوقود لتأمين الكهرباء مستقبلاً عندما تكون شدة الإشعاع منخفضة. فيما يلي نبيّن نتائج النمذجة التي قمنا بها لنظام مكون من خلايا الشمسية ــ جهازتحليل الكهرومائي ــ خلايا وقود، كما يوضحه الشكل (10) الذي أعطاه البرنامج.

في هذه الدراسة حسبت التكلفة على أساس عمر النظام المستقل عن الشبكة العامة وهو عشرون سنة وعمر جهاز التحليل الكهرومائي عشر سنين ويحتاج إلى تبديل مرة خلال عمر كامل النظام، وعمر المعــرج وخزان الهيدروجين أخذ مساوياً لعمر الخلايا الشمسية أُهمِلَتْ تكاليف نصب الألواح الشمسية والتمديدات الكهربائية، قمنا بإدخال المعلومات اللازمة لوحدات النظام مثل وحدة الخلايا الشمسية ووحدة أجهزة التحليل الكهرومائي وخلايا الوقود ووحدة المعرج نوع Sunny Boy ومحددات الطول والعرض الجغرافي للموقع المدروس والعمر المفيد للنظام ومتوسط الربح السنوي، ومعدل الإشعاع الشمسي اليومي والسنوي، ومقدار الانبعاثات الغازية المضرة للبيئة والاستهلاك اليومي من الطاقة المنتجة من الخلايا الشمسية. [11]



يبيّن شكل (10) مكونات نظام مستقل مكون من خلايا شمسية ــ جهاز تحليل الكهرومائي ــ خلايا وقود - مبدلات الكترونية - حمل.

النتائج التي حصلنا عليها والتي تمثل أفضل تصميم اقتصادي ممكن لنظام توليد مستقل عن الشبكة العامة يتكون من خلايا شمسية باستطاعة 4.6KW وجهاز تحليل الماء باستطاعة 1.8kW ومعرج باستطاعة 0.75kW وخلايا وقودية باستطاعة 0.8kW وخزان لغاز الهيدروجين بحجم 1 kg وقد خزن فيه 0.6kg من غاز الهيدروجين.

التكلفة الإجمالية لكامل النظام 28460$ دولار سيكون سعر الكيلوات الساعي الناتج باختيار هذا النظام 1.094$/KWh أي ما يعادل 50.32 ليرة سورية لكل وات ساعي (حيث اتخذ سعر الدولار 46

ليرة سورية)، يبيّن الجدول (7) هذه النتائج. وتبيّن الجداول والأشكال التالية نتائج نمذجة هذا النظام.

الجدول (7) تكاليف كل بند من مكونات النظام

Component	Initial Capital	Annualized Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Annual Fuel	Total Annualized
	($)	($/yr)	($/yr)	($/yr)	($/yr)	($/yr)
PV Array	12144	950	0	0	0	950
Fuel Cell	2400	188	0	0	0	188
Converter	420	33	0	0	0	33
Electrolyzer	3360	263	170	0	0	433
Hydrogen Tank	800	63	0	0	0	63
Other	3970	311	0	250	0	561
Totals	23094	1807	170	250	0	2226

يبيّن الجدول (7) تكاليف كل بند من مكونات النظام.

الجدول (8) الميزات الفنية لنظام كهروضوئي مستقل عن الشبكة العامة

Compound	Variable	Value
Photovoltaic	Average output	21.7 kWh/day
	Minimum output	0.00 kW
	Maximum output	4.84kW
	Solar penetration	389 %
	Capacity factor	19.7 %
	Hours of operation	4386 hr/year
Fuel Cell	Hours of operation	4523 hr/year
	Number of starts	777 starts/year
	Operational life	8.84year
	Average electrical output	0.252 kW
	Minimum electrical output	0.00 kW
	Maximum electrical output	0.645 kW
	Annual fuel consumption	68.4Lit/year
	Specific fuel consumption	0.060 Lit/kWh
	Average electrical efficiency	50.0 %
Hydrogen Tank	Hydrogen production	69 kg/year
	Hydrogen consumption	68.4kg/year
	Hydrogen tank autonomy	143 hours

يبيّن الجدول (8) الميزات الفنية لنظام كهروضوئي مستقل عن الشبكة العامة.

الجدول (9) الإستهلاك السنوي للحمل

Load	Consumption(kWh/yr)	Fraction
AC primary load	2036	36%
Electrolyzer load	3594	64%
Total	5630	100%

يبيّن الجدول (9) الإستهلاك السنوي للحمل.

الجدول(10) الطاقة الكهربائية المنتجة خلال سنه من النظام

Component	Production(kWh/yr)	Fraction
PV array	7492	85%
Fuel Cell	1361	15%
Total	8853	100%

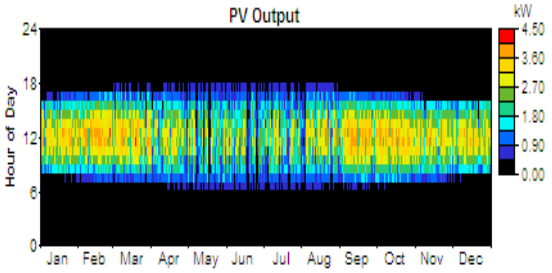
يبيّن الجدول(10) الطاقة الكهربائية المنتجة خلال سنه من النظام.

الأشكال التالية تُوضِح تحليل النتائج البيانية بالألوان التي أعطاها البرنامج من خلال برمجة النظام الثاني المقترح:

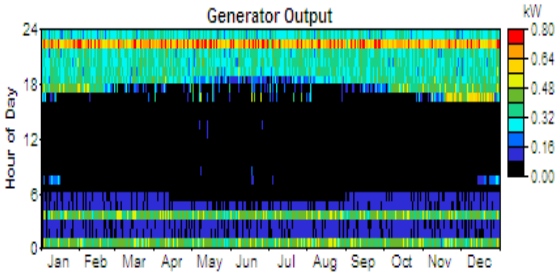
- يبيّن الشكل (11) قيمة الاستطاعة المولدة من الخلايا الشمسية خلال أيام أشهر السنة حسب الألوان، عندما تكون شدة اللإشعاع $1Kw/m^2$ تعطي الخلايا الشمسية أقصى استطاعتها وهذا يبيّنه اللون الأحمر.

❖ يبيّن الشكل (12) كمية إنتاج الكهرباء من خلايا الوقود الهيدروجينية خلال أشهر السنة، إذْ توضح الألوان كمية إنتاج الكهرباء من خلايا الوقود فمثلاً عندما يكون الإشعاع قليلاً أو منعدماً تؤمن الخلايا الوقودية الطاقة الكهربائية للحمل، وهذا يبيّنه اللون الأزرق اثناء ساعات النهار.

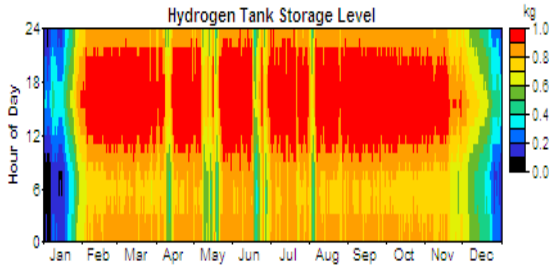
❖ يوضح الشكل (13) كمية غازالهيدروجين المخزّن خلال أيام أشهر السنة، وتبيّن الألوان أنّ في أشهر كانون الأول والثاني تقل كمية غاز الهيدروجين بسبب قلة الإشعاع الشمسي الذي يسبب قلة إنتاج الهيدروجين بواسطة جهاز تحليل الماء واستهلاك غاز الهيدروجين بواسطة خلايا الوقود الذي يقدم الطاقة الكهربائية اللازمة للحمل.



يبيّن الشكل (10) كمية الاستطاعة المولدة من الخلايا الشمسية خلال أيام أشهر السنة.



يبيّن الشكل (11) كمية إنتاج الكهرباء من خلايا الوقود الهيدروجينية خلال أشهر السنة.



يبيّن الشكل (12) كمية غازالهيدروجين المخزن خلال أيام أشهر السنة.

<u>النتائج والمناقشة:</u>

في هذه الدراسة قمنا بدراسة وتحليل ونمذجة آلية عمل نظامين مستقلين أحدهما مكون من (خلايا شمسية ومدخرات كهربائية ومبدلات إلكترونية) والثاني (خلايا شمسية ــ جهاز تحليل كهرومائي ــ خلايا الوقود الهيدروجينية ومبدلات إلكترونية)، بيّنا من خلال نمذجة هذين النظامين ومحاكاتهما الكلفة الاقتصادية والفنية لكل واحد منهما وتمت المقارنة بينهما عند تغذية حمل لمبنى سكني يستهلك 5.574 kW/day وذلك باستخدام برنامج هامر HOMER والنتائج التي حصلنا عليها تم بيانها في الجدول (11) الذي يبيّن مكونات النظامين ومواصفاتها الفنية واستطاعتها الإسمية فضلاً عن التكاليف وسعر الكيلوواط ساعي.

الجدول (11) نتائج المقارنة بين النظامين المدروسين

أنواع النظام	نظام خلايا شمسية ــ المدخرات مبدلات الالكترونية	نظام خلايا شمسية ــ تحلل الكهربائي ــ خلايا الوقود
خصائص ومكونات النظام المقترح من قبل برنامج HOMER	-1.8 كيلوواط خلايا شمسية - 18 عدد المدخرات الكهربائية - معرج 0.75 كيلوواط	- 4.6 كيلوواط خلايا شمسية - 1.8 كيلوواط جهاز تحلل كهرومائي - 0.8 كيلوواط خلايا الوقود - 1Kgمخزن لتخزين غاز الهيدروجين(يستهلك 0.6kg من غاز الهيدروجين المخزن) - معرج 0.75 كيلوواط

التكاليف الكلية للنظام ($)	11356		28460	
التكاليف الاولية للاستثمار ($)	8915		23094	
سعرالكهربا ء المنتجة ($/kWh)	0.436		1.094	
انتاج الكهرباء خلال سنة واحدة من كل نظام (kWh/year)	الخلايا الشمسية	3417	الخلايا الشمسية	7922
			- خلايا الوقود	1,141
مقدار استهلاك الكهرباء في الحمل خلال سنة واحدة لكل نظام (kWh/year)	- الحمل	2036	-الحمل	2036
			- محلل الكهرومائي	3594

يبيّن الجدول (11) نتائج المقارنة بين النظامين المدروسين.

تبيّن نتائج الدراسة أن استخدام الهيدروجين كعنصر تخزين للطاقة الكهربائية المولدة من الخلايا الشمسية باعتماد جهاز خلايا الوقود، أكثر تكلفة من النظام الأول الذي يعتمد على المدخرات كأداة تخزين وذلك بسبب ازدياد مكونات النظام (إضافة جهاز التحليل الكهرومائي وجهاز ضغط لإنتاج الهيدروجين وتخزينه) مما أدى إلى زيادة التكاليف الأولية للنظام ومن ثمَّ إلى رفع سعر الكيلوواط ساعي مقارنة بالنظام الأول وذلك بسبب ازدياد الاستطاعة المطلوبة من الخلايا الشمسية.

كانت كلفة النظام الثاني أكثر من النظام الأول لكنه يمتاز بإنتاجه للهيدروجين وإمكانية تخزينه ليستخدم في أي زمان ومكان باستخدام الخلايا الوقودية. وكما نرى فإن نظام خلايا الوقود وتوليد الهيدروجين تؤدي دور المدخرات المستخدمة في النظام المستقل ولاتحتاج إلى شحن دوري وليس فيها تفريغ ذاتي.

الدراسة الاقتصادية التي قمنا بها، اعتمدت الأسعار العالمية القائمة حالياً لكن لابد من الإشارة إلى أن أسعار مكونات هذه الأنظمة (خلايا وقود -مدخرات - معرجات - خلايا شمسية) تتراجع دائماً، ويبقى لكل نظام ميزاته ومساوئه، لكن المستقبل سوف يكون لخلايا الوقود خاصةً إذا أمكن توليد الهيدروجين من ساعد مصادر رخيصة، وإذا ما تم مقارنة ترشيد توليد Co_2 وظاهرة الاحتباس الحراري.

استخدام برنامج هامر في معرفة النتائج بدقة جيدة ويعطي بيانات دقيقة عن قيم الاستطاعة الممكن توليدها وسعة ومواصفات عناصر النظام المقترح، وآلية عمله، وهذا البرنامج يعتمد في العديد من الدراسات في الجامعات العالمية.

المراجع

[1]- M.Green “Applied Photovoltaics” Earthscan 2007.

[2]-Connea, J.M. " hydrogen Fuel for Surface Transportation"1996 .

[3]- Services Athero,Fuel Cell Handbook" EG&G Services ,2000.

[4]- Goh, W.C. & Barsoum, N.N. "Balancing Cost, Operation and Performance in Integrated Hydrogen Hybrid Energy System "2006

[5] -P. Lopez, R. Teodorescu, F. Freijedo,J. Doval-Gandoy, ”Leakage current evaluation of a single-phase transformerless PV inverter connected to the grid”, Applied Power Electronics Conference, APEC 2007.

[6]-Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001.

[7]- K. P. Adzakpa, K. Agbossou, Senior Member” PEM Fuel Cells Modeling and Analysis Through Current and Voltage Transient Behaviors” IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 2, JUNE 2008.

[8]- WWW.SMA.de.

[9]- Instruction for erection operation and maintenance for hydrogen generation and compression plant EV05/10 system DEMAG, 1998.

[10]- "Nexa Installation and Integration Guides merged into one document", MAN5100078 Nexa User's Manual - Rev 0A, 16 June 2003.

[11]- NERL. Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER) available freely at:WWW.nrel.gov.

[12]- http://www.globalsources.com/gsol/I/Solar-panel/p/sm/1009506393.htm.

[13] - http://www.energyenv.co.uk/VictronInverters.asp

[14]- Prof.Hashem Orkozagh and Mas.Mohammad Mosavi” Study of the Characteristics of PEM. Fuel Cells, and its Dynamic Operation” Damascos university journal.2009

[15] T. Givler and P. Lilienthal” Using HOMER® Software, NREL’s Micropower Optimization Model,to Explore the Role of Gen-sets inSmall Solar Power Systems” Technical Report

NREL/TP-710-36774,May 2005.

[16] -J. Cotrell W. Pratt, Research Associate “Modeling the Feasibility of Using Fuel Cells and Hydrogen Internal Combustion Engines in Remote Renewable Energy Systems’’ REL/TP-500-34648, September 2003 .

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/6/17