تحسين أداء الخلايا الشمسية باستخدام تصاميم جديدة لمركز حوضي مركب نوع رباعي المرايا المغطى بعدسات فرينيلV

علي هادي الحمداني* صبري جاسم** كوكب داود**

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٦/١١/٧

الخلاصة:

تم تصميم وبناء مركز حوضي جديد نوع V (V-trough connectivity) رباعي المرايا وتمت دراسة تأثيره على كافة معلمات تقييم أداء الخلية الشمسية السيليكونية في حالة عدم وجود نظام تبريد ووجوده، لوحظ إن كفاءة أداء هذه الخلية قد ازدادت من 11.94 % إلى 21 % بدون تبريد أما مع التبريد فقد ازدادت كفاءة الأداء من 13.3 % إلى 25.55 %. كما تمت دراسة تأثير الجمع بين أنواع مختلفة من عدسات فرينيل مع هذا المركز على أداء الخلية الشمسية حيث تم الحصول على افضل أداء للخلية وقدره 26.8 %. بدون تبريد وعلى أفضل أداء مقداره 30.3 % بوجود نظام تبريد.

المقدمة :

هذا البحث هو استمرار للبحوث السابقة والتي تهدف إلى إيجاد تصاميم جديدة بسيطة ورخيصة الثمن للمركزات الشمسية [1,2,3] هدفها تطوير كفاءة أداء الخلايا الشمسية وخفض كلفة التصنيع وتقليل مساحة الخلية الشمسية، حيث تستخدم المرايا أو العدسات أو كليهما معا . يتم استخدام برامجيات تتبع المسار الشمسي (مثل Zemax) للحصول على أفضل تصميم وبعد ذلك تتم عملية بناء النماذج . توضع الخلايا الشمسية داخل المركز فكفاءة التحويل الى الطاقة الكهربائية سوف تزداد [6,5,4] .

إن أهم المعايير لتقييم عمل المركزات الشمسية هي نسبة التركيز C التي من الممكن تعريفها بطريقتين:-

١- نسبة التركيز الهندسية Geometrical Concentration Ratio (Cg)

هي النسبة بين مساحة فتحة الدخول (A_1) إلى مساحة الماص أو فتحة الخروج (A_2):-

$$Cg = A_1/A_2 \quad \text{----------(1)}$$

2- نسبة تركيز الفيض Flux Concentration Ratio

ويمكن حسابها من نسبة الإشعاع (Global) الساقط على الماص (absorber)(G2) إلى نسبة الإشعاع على فتحة الدخول (G1) [7]

$$C = G_2/G_1 \quad \text{----------(2)}$$

كما وان قيمة التركيز نظرية يمكن ايجادها للمركز الثلاثي الأبعاد (مثل المركز المخروطي أو الصحن) فتحسب بالمعادلة [7]

$$C_{max\text{-}3d} = \frac{1}{\sin 2(\frac{\Theta}{2})} \quad \text{----------(3)}$$

حيث Θ تمثل زاوية سقوط الشعاع الشمسي مع العمود على مستوي فتحة الدخول.

أما المركز الثنائي الأبعاد كالحوضي والخطي والاسطواني فيمكن حساب نسبة التركيز بالمعادلة [4].

$$C_{max\text{-}3d} = \frac{1}{\sin(\frac{\Theta}{2})} \quad \text{----------(4)}$$

ويمكن حساب قيمة نسبة التركيز بقسمة تيار الدائرة القصيرة Isc عند التركيز إلى Isc بدون تركيز [5]

$$C = \frac{Isc(\text{with concentration})}{Isc(\text{without concentration})} \quad \text{-----(5)}$$

أن تيار الدائرة القصيرة هو التيار المنساب بحرية من الخلية الشمسية خلال الدائرة الخارجية التي ليس لها حمل أو مقاومة أي أعظم تيار يمكن الحصول علية.I sc أن تيار الدائرة القصيرة ومن معلمات تقييم الأداء للخلية الشمسية هي فولتية الدائرة المفتوحة التي تمثل أعظم قيمة ممكنة للفولتية داخل الخلية الشمسية حيث لا يمر أي تيار وتمثل بالمعادلة

$$V_{oc} = \frac{KT}{q}\ln(1 + I_L/I_0) \quad \text{.....(6)}$$

* د./ الجامعة التكنولوجية-قسم هندسة الليزر والبصريات الإلكترونية-بغداد

** جامعة تكريت/ كلية التربية/ قسم الفيزياء

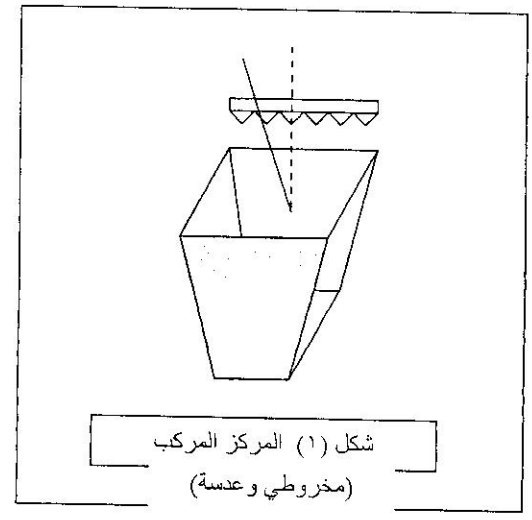
حيث I_L هو التيار الضوئي ، I_0 تيار الإشباع العكسي ، K ثابت بولتزمان، لا درجة الحراره بالكلفن . أما كفاءة التحويل الفوتوفولطائية للخلية الشمسية فهي النسبة بين القدرة الكهربائية المنتجة بواسطة الخلية الشمسية إلى قدرة الضوء الساقط على الخلية وتعتمد على خواص المواد مثل حزمة فجوة الطاقة وعلى التوزيع الطيفي للضوء الساقط وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{V_{max} I_{max}}{P_{incident}} \quad .....(7)$$

الجانب العملي والقياسات:-

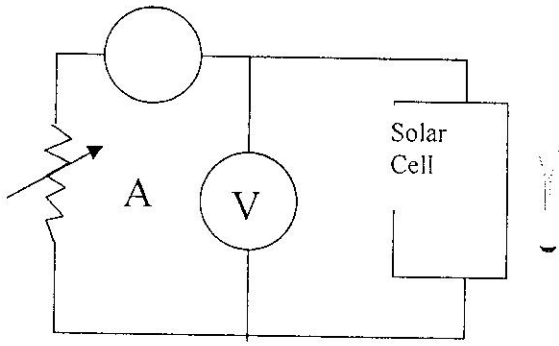
استخدمت في هذا البحث خلية سليكونية أحادية البلورة نوع Z_{100-0} ذات شكل دائري وقطر 10cm وسمكها $350\mu m$ ومعامل انكسار الطلاء الغير عاكس (n=2.2) مساحة الخلية بحدود $78.5cm^2$ والمقاومة النوعية والمقاومة النوعية لها (0.5-3) .

تم تصنيع مركز الحوضي ذو شكل V (V-trough) الثنائي الأبعاد والموضح في الشكل (1) المتكون من هيكل حديدي تثبت فيه مرايا زجاجية مستوية من الجهات الأربعة (ارتفاعه 45cm) وفتحة بمساحة (35 * 37.5) cm^2 أما قاعدته السفلى الذات مساحة (10 cm * 10 cm) وزاوية ميل المرايا 22° من الجهات الأربعة.



شكل (١) المركز المركب
(مخروطي وعدسة)

استخدمت الدائرة في الشكل (٢) لإجراء القياسات ودراسة خصائص (I-V) للخلية الشمسية



شكل 2 يوضح الدائرة التي يتم ربطها لدراسة خصائص (I-V).

تتألف الدائرة الموضحة من خلية سليكونية أحادية البلورة ترتبط على التوالي مع كل من الاميتر والمقاومة المتغيرة ثم تربط على التوازي بين قطبي الفولطميتر وتكون هذه الخلية تحت تأثير مصدر ضوئي (مصباح) مجهز من شركة Philips طراز (Splender E27 Flood) . بعد أن يتم الربط نتبع الخطوات آلاتية لإجراء القياسات :-

أولاً :- تم قياس كفاءة أداء الخلية الشمسية مختبريا وبدون مركز وذلك بتسليط ضوء ذو شدة (Intensity) مقدارها $100\ W/m^2$ على الخلية الشمسية وحساب قيم التيار والفولطية بتغيير قيم المقاومة المتغيرة ومن ثم رسم منحني خواص التيار – الفولطية وحساب قيمة تيار الدائرة القصيرة (Isc) وفولطية الدائرة المفتوحة (Voc) والقيمة العظمى للقدرة الناتجة (P_{max}) ومن ثم حساب كفاءة أداء الخلية الشمسية (مر بأعة) من المعادلة (٧) ومن ثم مقارنة النتائج مع نتائج المنظومة ذاتها لكن مع نظام تبريد ماء بمعدل جريان $0.006\ cm^3/sec$.

ثانياً:- وضعت هذه الخلية في قاعدة المركز ثم سلط الضوء ذاته وحسبت قيم التيار والفولطية بتغيير قيم المقاومة المتغيرة ورسمت خصائص (I-V) ومن ثم حسبت قيم (η ،P_{max} ،Isc ،Voc) وأعيدت القياسات باستخدام نظام تبريد بمعدل جريان $0.006 \frac{cm3}{sec}$.

ثالثا :- أضيفت عدسات فرنيل بالتتابع لهذا المركز وتكون لدينا (lens-mirror combination concentrator) . واعيدت طريقة القياسات ذاتها بالتبريد مرة وبلا تبريد مرة أخرى.

النتـــــائج والمناقشة :

أولا: تأثير المركز الحوضي فقط:

أ- بدون تبريد:

الشكل 3 وجدول 1 (العمود ٢و٣ من اليسار) يتبين أثر المركز على كفاءة أداء الخلية الشمسية حيث زادت كفاءة الأداء من 11.94% إلى 21 % وزيادة في شدة تركيز الأشعة الساقطة إلى $243\ W/m^2$ مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية إلى 313 كلفن . لقد كانت الزيادة كبيرة في قيمة Isc (من ٣٢٠.9mA الى ٤٥٠mA) أما الزيادة في قيمة Voc فكانت طفيفة 6mV وذلك يعود للعلاقة اللوغاريتمية بين Voc وشدة الإشعاع أما نسبة التركيز فكانت 1.402 هذا بلا تبريد .

ب- تأثير التبريد:

الشكل (٤) والجدول(٢) (العمود ٢و٣ من اليسار) يوضح أن التبريد (302 كلفن) قد زاد من كفاءة الأداء (١٣,٣% إلى 25.55 %) كما ازداد تيار الدائرة القصيرة (٣٣٤,٥mA الى ٦٠١ mA) . بقي أن نذكر إن أقصى قيمة للقدرة الخارجة وصلت إلى (0.16742 Watt) بدون تبريد و (0.20086 Watt) مع التبريد.

ثانيا : تأثير المركز المركب (مركز حوضي مع عدسات فرينل المختلفة) :

أ- بدون تبريد:

يتضح من الشكل (٣) والجدول (١) (الأعمدة ٣و٤و٥ و٦ من اليسار) أن وجود عدسات فرينل مع المركز الحوضي قد زاد في كمية الطاقة المتجمعة على الخلية وان اكبر قيمة لتيار الدائرة القصيرة هو ٦٢٠ mA وأكبر كفاءة يمكن الحصول عليها هي ٢٦,٨% وذلك عند استخدام العدسة الثانية مع المركز الحوضي وهو أعطى اكبر قيمة لنسبة للتركيز ومقدارها ١,٩٣٢.

ب- بوجود التبريد:

يتضح من الشكل (٤) والجدول ٢ (الأعمدة ٣و٤و٥ و٦ من اليسار) أن وجود عدسات فرينل مع المركز الحوضي قد زاد في كمية الطاقة المتجمعة على الخلية وان اكبر قيمة لتيار الدائرة القصيرة هو ٦٤٥ mA وأكبر كفاءة يمكن الحصول عليها هي ٣٠,٣% وذلك عند استخدام العدسه الثانية مع المركز الحوضي وهو اعطى اكبر قيمة لنسبة للتركيز ومقدارها ١,٩٣٢.

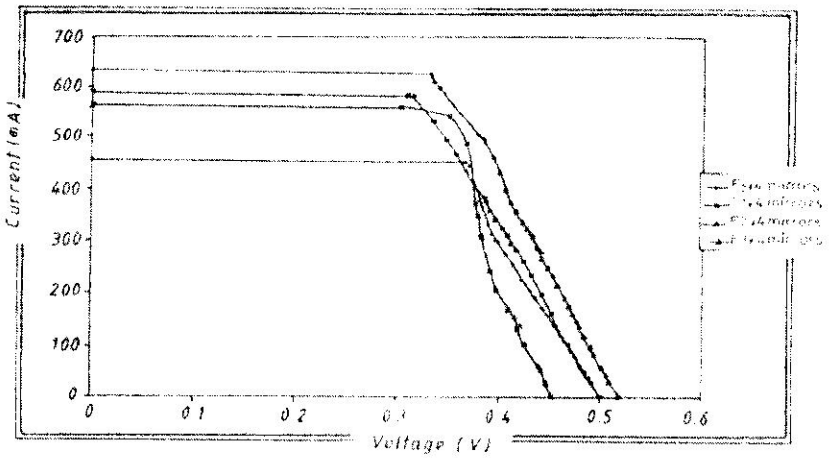
نستنتج من النتائج أعلاه أن التصميم الجديد للمركز المركب والمتكون من المركز الحوضي وعدسات فرينيل يعطي نتائج جيدة حيث ازدادت كفاءة التحويل للخلية الشمسية بمقدار $\Delta\eta$=٨١,٨٧% و ١٢٤% للعدسة الثانية والحوضي وذلك في حالة التبريد وعدم وجوده.

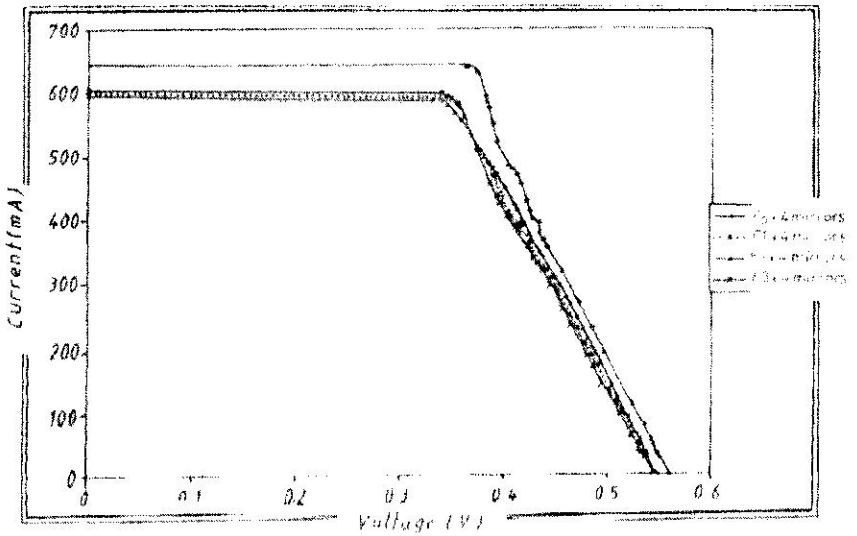
جدول (١) معالم خرج الخلية الشمسية عند استخدام المركز الحوضي المركب وبدون تبريد

parameters	Cell only (with out concentrator)	Cell With V-trough concentrator	Combination (1st Fresnel lens+ V-trough)	Combination (2nd Fresnel lens+ V-trough)	Combination (3rd Fresnel lens+ V-trough)
Isc mA	320.9	450	530	620	541
Δ Isc mA	/	129.1	209.1	299.1	220.1
Voc mV	0.5007	0.5013	0.5029	0.5185	0.4527
η %	11.94	21	23	26.8	23.2
Δη %	/	75.78	92.26	124.95	94.3
Pm watt	0.09375	0.16742	0.18315	0.21084	0.18265
Δ Pm %	/	87.581	95.36	124.896	94.926
Concentration ratio	1	1.402	1.65	1.932	1.685

جدول (٢) معالم خرج الخلية الشمسية عند استخدام المركز الحوضي المركب بوجود التبريد

parameters	Cell only (with out concentrator)	Cell With V-trough concentrator	Combination (1st Fresnel lens+ V-trough)	Combination (2nd Fresnel lens+ V-trough)	Combination (3rd Fresnel lens+ V-trough)
Isc mA	٣٣٤.5	601	595	645	600
Δ Isc mA	/	266.5	260.5	310.5	265
Voc mV	0.5346	0.5486	0.5471	0.5602	0.5455
η %	13.3	25.55	26.4	30.3	26.2
Δη %	/	92.33	98.49	127.81	96.9
Pm watt	0.10447	0.20086	0.20763	0.23798	0.20708
Δ Pm %	/	92.265	98.746	127.797	99.792
Concentration ratio	1	1.797	1.778	1.931	1.793





REFERENCE

1- Al-Hamdani,Ali, H., 2000 " Effects of the solar cells shapes on the Accumulated energy", Arab Energy and sustainable development : 490.

2- Al-Hamdani, Ali, H., Quasy Kalid Ahmed, 2000 " Collection efficiency of Casegrain reflector systems", Journal of the Al-Rafidain University College for Sciences, 5: 5109.

3- Al-Hamdani, Ali, A., Al-Ani, S. K., Blawa, B.D., 2000 " Improvement of solar cell efficiency using Fresnel lens design", Arab Energy and sustainable development,:705.

4-.Kaplin, G. M., 1985 "Understanding Solar Concentrators", VITA.

5- Mbewe, D. J., Cordand , H.C. and Cord, D. C., 1985 "A model of silicone Solar Cell for Concentrator Photovoltaic and Photovoltaic Thermal System Design", Solar energy,35(3):247.

6- Stacy, R.W. and Cormic, Mc. 1998 " The Effect of Concentrated Sunlight on the Performance of flat Plat Photovoltaic Modules, SWC, 3 :1554.

7- Ronneld, M. 1998 "Optical design of Stationary Concentrators for High latitudes ", Ph.D. thesis, Upssala University Sweden .

8- Blawa, B. D. 2001 " Improvement of solar cell efficiency using solar. cell concentrators" PhD. Thesis ,Baghdad University, College of Sciences for women.

Improvement of solar cell efficiency by using four mirrors V-trough concentrator covered with Fresnel lenses

***Ali H. Al_Hamdani **Sabri Jasim **Kawcab Daood**

* Laser & Opto-Electrnic Eng. Dept.\ Techology University

** University of Tikreet/ College of Education/ Department of Physics.

Abstract:

V-trough concentrator with four mirrors has been designed and constructed. Its effects on the silicon solar cell performance were studied with and with out cooling system. It was shown that the cell efficiency was increased from 11.94 % to 21 % with out cooling and from 13.3 % to 25.55 % with cooling system.

The effect of a combination between Fresnel lens and V-trough concentrator was studied also. The solar cell efficiency was improved to 26.8 % with out cooling and the best efficiency improvement was 30.3% with cooling system.