

حساب نسبة تركيز الأشعة الشمسية للمضاعف البسيط

هناك جماعة بن حليم¹، أ.د. محمد عبد العزيز منصور¹، أ.د. خالد مازوز¹، د. بدر الدين جمعة سعد²

1. قسم فيزياء، كلية العلوم، جامعة طرابلس، ليبيا

2. المركز الليبي التقني العالي للتدريب والإنتاج، طرابلس ليبيا

H.BENHALEIM@uot.ly

الملخص

المضاعف البسيط يمكن استخدامه في تطبيقات مختلفة في مجالات الطاقة الشمسية وذلك لتركيز الشعاع الشمسي على المستقبل لزيادة كفاءته. هذه الدراسة تمحورت حول إستنباط علاقة رياضية لحساب نسبة التركيز للمضاعف البسيط بدلالة مجموعة من المتغيرات: (نسبة طول المرآة إلى عرض المستقبل (f) وزاوية ميلها على الرأسي (العمودي على المستقبل) (α))، وذلك بفرض أن توزيع الشعاع الشمسي متماثلاً وبإهمال معامل الإمتصاص للعواكس واستخدام تقنية تتبع الشعاع في بعدين وقانون سنيل وبعض العلاقات الرياضية. كما يهدف هذا البحث لدراسة تأثير هذه المتغيرات على نسبة تركيز الشعاع الشمسي وتوزيعه على المستقبل. أظهرت النتائج أنه عندما تكون $f=2$ و $\alpha=5$ فإن توزيع تركيز الشعاع الشمسي يكون مرتكز عند الأطراف وتتكون بقعة باردة في المنتصف وبزيادة (α) تقل البقعة الباردة في المنتصف حتي يصبح المنتصف حار والأطراف باردة ($\alpha=18$). تتراوح نسبة التركيز عند $f=1$ و $\alpha=18$ ما بين 1.62 : 1 لمدة 4.5 ساعة، وتزداد نسبة التركيز إلى 2.24 : 1 عند $f=2$ و $\alpha=18$ و لكن نقل الفترة الزمنية إلى 3.5 ساعة. نستنتج من هذه الدراسة أن قيمة وتوزيع تركيز الشعاع الشمسي على المستقبل يتأثر بشكل ملحوظ بزاوية ميل المرآة والنسبة بين طول المرآة إلى عرض المستقبل وإن نسبة التركيز تزداد بزيادتهما، كما يمكن استخدام هذه العلاقة للحصول على أفضل تصميم للمضاعف البسيط.

الكلمات المفتاحية. المجمعات الشمسية، التحليل البصري لمجمعات الشمسية، تحليل تتبع الأشعة

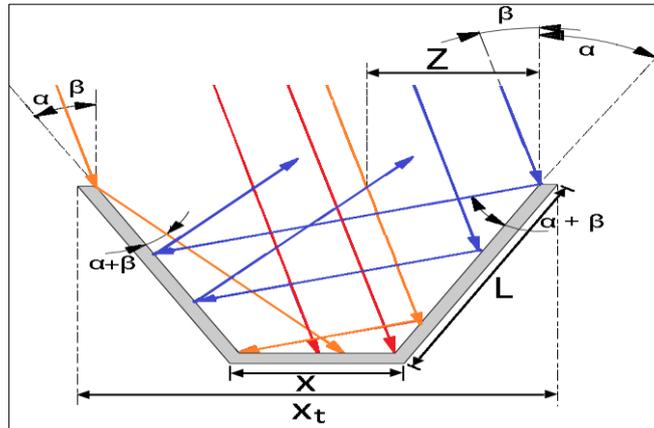
Abstract

Doubler. In this study, a mathematical formula was derived for the concentration ratio of the Simple Doubler as a function of a set of shape variables (the ratio of the length of the mirror to the width of the receiver (f), and the angle of inclination of the mirror to the vertical (normal to the receiver) (α)). with ratioreceiver. The result show that When $f = 2$ and $\alpha = 5$, the distribution of the concentration ratio is focused at the edges, and a bright spot is formed in the middle, and with an increase α , This study was shown that the ratio receiver were significantly affected by the ratio of the length of the mirror to the width of the receiver, and the angle of inclination of the mirror to the vertical. and this relationship can also be used to obtain the best design for the simple Doubler.

Key words: Solar Collectors, optical analysis of solar collectors, ray tracing analysis

المقدمة

المضاعف البسيط هو أحد صور أنظمة الطاقة الشمسية المركزة ويتكون من مرأتان مستويتان و متقابلتان ومتواجهتان يميلان بزاوية (α) علي الرأسى وطولهما (L) ويبعدان عن بعضهما في القاعدة مسافة (X)، يوضع بها المستقبل الذي قد يكون خلاية شمسية (كهروضوئي) أو خزان لتحلية المياه أو مستقبل لتسخين المياه لإستعمالها في التدفئة. الأشعة الشمسية الساقطة على المجمع تميل بزاوية (β) على الرأسى كما في الشكل (1).



الشكل (1) تتبع الشعاع الشمسي الساقط علي المضاعف البسيط

درس العديد من الباحثين أنواع مختلفة من المجمعات الشمسية [1-12]، وتنقسم إلى مجمعات شمسية مركزة وغير مركزة. بالنسبة للمجمعات الغير مركزة فإن منطقة الاعتراض و إمتصاص الإشعاع هي نفسها، بينما في المجمعات الشمسية المركزة يُستخدم سطح عاكس لإعتراض حزمة الإشعاع وتركيزها علي منطقة إستقبال أصغر مما يزيد من تدفق الإشعاع. تصنف المجمعات الشمسية المركزة علي حسب شكل العواكس إلى مستوية و منحنية [11]، وأهتم العديد من النُحات في دراسة الكفاءة البصرية للمركزات الشمسية [14-19] ، وعلى سبيل المثال قام الباحث جينغوي وأخرون [12]، بحساب الفقد البصري لمركزات فرنزل رياضيا وذلك بفرض أن سطح العواكس مستوي وباستخدام تقنية تتبع الشعاع و قانون سنيل، كما درسه تأثير ارتفاع المستقبل و عرض العاكس و المسافة بين العواكس وزاوية ميل الشعاع الشمسي، و إستنتاج بإمكانية إستعمال العلاقات الرياضية المستنتجة للوصول إلى أفضل تصميم. قد ورد في الدراسة [14] التي تتضمن الدراسات السابقة لحساب الكفاءة البصرية و الحرارية للمركزات الشمسية، أن الدراسات السابقة تتمحور حول دراسة الكفاءة البصرية و الحرارية لمركزات القطع المكافئ و مركزات فرنزل الخطية ومركزات الصحنية التي تعتبر الأكثر إستعمالا في محطات توليد الكهرباء. ومن هنا نستخلص بأن لم يتطرق أحد من الباحثين لحساب نسبة التركيز للمضاعف البسيط، ومن هذا المنطلق قمنا في هذه الدراسة بإشتقاق علاقة رياضية لحساب نسبة التركيز للمضاعف البسيط وتم برمجتها بلغة المات كات، و أستخدمت لدراسة تأثير متغيرات الشكل علي نسبة التركيز وتوزيعها علي المستقبل.

الإستنتاج الرياضي

لإشتقاق علاقة لحساب نسبة التركيز نحتاج أولاً إلى تحديد مساحة المنفذ (x) وهي عبارة عن المساحة التي يسقط عليها الشعاع الشمسي و من الشكل (1) نستنتج أن مساحة المنفذ تساوي:

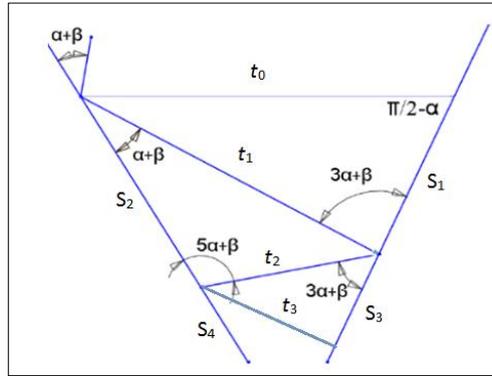
$$x_t = x + 2L \sin \alpha \quad (1)$$

بفرض أن توزيع الشعاع الشمسي متماثلاً وبإهمال معامل الإمتصاص للعواكس وباستخدام تقنية تتبع الشعاع في بعدين و قانون سنيل [14,13]، ومن الشكل (1)، نلاحظ أن الشعاع الشمسي ينقسم إلى ثلاثة أقسام. جزء يسقط على المستقبل بدون إنعكاس وجزء يصل إلى المستقبل بعد عدد من الإنعكاسات والجزء الثالث ينعكس إلى خارج المجمع مما يكون منطقة مظلمة (Z) كما بالشكل (1). يحسب عدد الإنعكاسات الفعالة (n) من العلاقة التالية

$$n \leq \frac{90 - \beta}{2\alpha} + \frac{1}{2} \quad (2)$$

إذا كانت (n) عدد زوجي تحسب عدد الإنعكاسات للمرآة اليمنى، وإذا كانت عدد فردي تحسب عدد الإنعكاسات للمرآة اليسرى.

بأستخدام بعض العلاقات الرياضية المثبتة و من الشكل (2) يمكن اشتقاق علاقة لحساب العمق الكلي الذي يصل إليه الشعاع المنعكس لارو هي:



الشكل (2) أنعكاس زوايا الشعاع

$$y_j = S_j + y_{j-2} \quad (3)$$

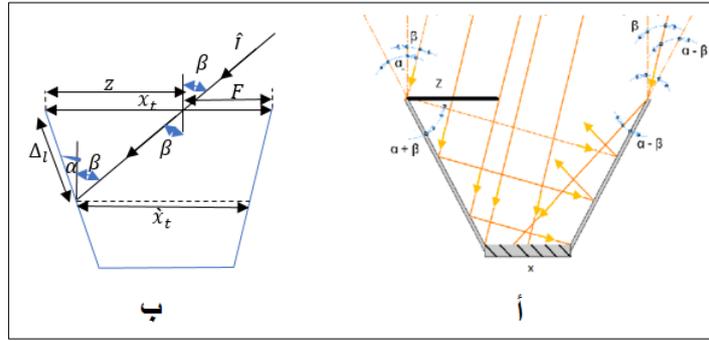
حيث أن

$$S_{j+1} = t_j \left(\frac{\sin(2(2j+1)\alpha + \beta)}{\sin((2j+1)\alpha + \beta)} \right) \quad (4)$$

For $j \geq 1$

$$t_{j+1} = t_j \left(\frac{\sin((2j-1)\alpha + \beta)}{\sin((2j+3)\alpha + \beta)} \right) \quad (5)$$

إذا كانت ($L < y$) فإن جميع الأشعة تسقط علي المستقبل، أما إذا كانت ($L > y$) فإن الأشعة تنعكس إلى خارج المستقبل. يعرف الجزء الذي يسمح بوصول الأشعة إلي المستقبل من المنفذ بالمنطقة المضيئة F كما هو موضح بالشكل (3)، وتحسب بالعلاقة التالية.



الشكل (3) أ - الأشعة المرتدة و ب - كيفية حساب المنطقة المظلمة (Z)

$$F = x_t - Z \quad (6)$$

$$Z = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} \Delta L \quad (7)$$

وبما أن نسبة التركيز هي النسبة بين المساحة المتوفرة لدخول الأشعة الشمسية من مساحة المنفذ إلى مساحة المستقبل [1,11]، و من الشكل (3)، يمكن اشتقاق علاقة لحساب نسبة التركيز الخطي للمضاعف البسيط (C)، وهي

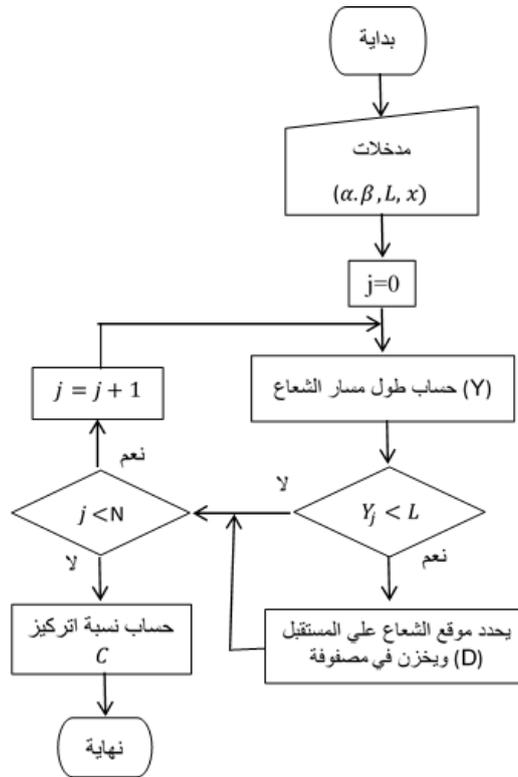
$$c = \frac{F \cos(\beta)}{x} = \frac{x_t - Z}{x} \cos(\beta) \quad (8)$$

المحاكاة لتتبع الشعاع الشمسي وإنعكاسه

تمت برمجة المعادلات المشتقة السابقة بإستخدام برنامج مات كات لدراسة تأثير الأبعاد كالتالي

1. مدخلات: طول المرآة (L) وزاوية ميلها علي الرأسي (α) وطول المستقبل (x) وزاوية ميل الشعاع الشمسي علي الرأسي (β).
2. تقسم المرآتين و المستقبل إلي مجموعة نقاط.
3. تقسم مساحة المنفذ إلي مجموعة من النقاط N التي يسقط عليها الأشعة الشمسية.
4. بفرض أن الشعاع الشمسي خط مستقيم يقطع المرآة في نقطة وإستخدام نظرية مستقيم يقطع مستوي نوجد متجة الوحدة (I) و موقع الشعاع (Q).
5. نوجد طول المسار للشعاع (y) ونحدد ما إذا كان يسقط علي المستقبل أو ينفذ إلي الخارج بإستخدام العلاقة (5).
6. نكون المصفوفة D تحتوي علي موقع ومتجة الوحدة للشعاع الساقط علي المستقبل.

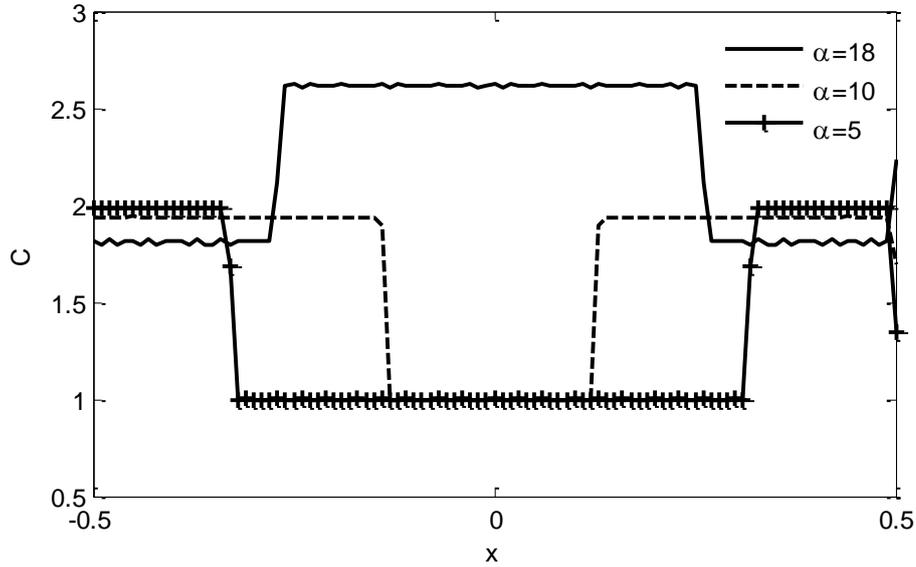
7. نكرر الخطوات من 4 إلى 6 علي جميع الأشعة الساقطة علي مساحة المنفذ.
 8. نحسب عدد الأشعة الساقطة علي كل نقطة في المستقبل باستخدام المصفوفة D.
 9. نحسب نسبة التركيز باستخدام العلاقة (8).
 10. المخرجات: نسبة التركيز علي المستقبل.
- والشكل (4) يوضح مخطط الإنسيابي لهذا البرنامج.



الشكل (4) المخطط الإنسيابي للبرنامج

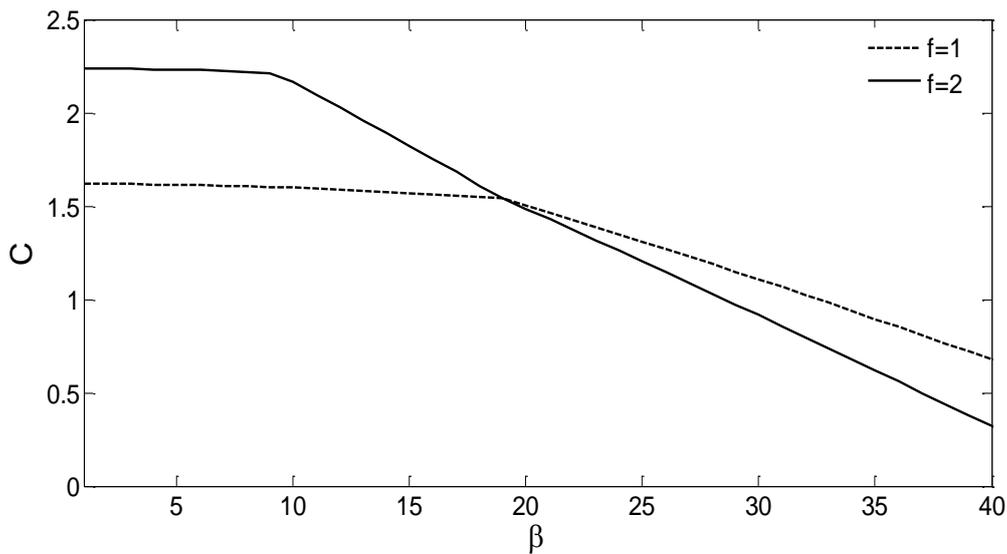
النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (5) توزيع تركيز الشعاع الشمسي على عرض المستقبل في منتصف النهار $\beta=0$ ، عند النسبة بين طول المرايا إلى عرض المستقبل $f=2$ لقيم مختلفة لزواوية ميل المرايا على الرأس α . عندما $\alpha=5$ تكون نسبة التركيز 1 في المنتصف ونتيجة توالي الانعكاسات يزداد إلى 2 في الأطراف، مما تتكون بقعة حارة في الأطراف وباردة في المنتصف، وبزيادة زاوية ميل المرايا على الرأس $\alpha=10$ تقل نسبة التركيز في الأطراف إلى 1.94 ويبقى ثابت في المنتصف، ولكن تزداد عرض البقعة الحارة في الأطراف عن المنتصف. عند $\alpha=18$ تتكون بقعة حارة في المنتصف بتركيز 2.62 وبقعة باردة في الأطراف بتركيز 1.81. نستنتج من الشكل أن زاوية ميل المرايا لها تأثير علي توزيع الشعاع الشمسي وقيمه حيث بزيادة زاوية ميل المرايا تزداد نسبة التركيز ويتركز تركيز الشعاع الشمسي في المنتصف.



الشكل (5) توزيع تركيز الشعاع الشمسي (C) على عرض المستقبل (x) عندما $f=2$ و $\beta=0$

يوضح الشكل (6) العلاقة بين تركيز الشعاع الشمسي لمضاعف بسيط و زاوية سقوط الشعاع الشمسي (β) عند زاوية ميل المرايا علي الرأس $\alpha=18$ لقيم مختلفة لنسبة طول المرايا إلي عرض المستقبل f . عند $f=1$ نتحصل علي نسبة تركيز تتراوح ما بين 1 : 1.62 في الفترة ما بين $\beta=0:32$ و بما أن كل 15 درجة تمثل ساعة واحدة [11,4]، أي نتحصل علي تركيز لمدة 4.5 ساعة تقريباً، وتقل نسبة التركيز عن 1 في باقي النهار نتيجة أعتراض المرايا للشعاع الشمسي الساقط. عند $f=2$ نتحصل علي نسبة تركيز تتراوح ما بين 1 : 2.24 في الفترة ما بين $\beta=0:28$ أي لمدة 3.5 ساعة. نستنتج من الشكل أن بزيادة النسبة بين طول المرايا إلي عرض المستقبل تزداد نسبة التركيز ولكن لفترة زمنية أقل.



الشكل (6) معدل تركيز الشعاع الشمسي لمضاعف بسيط واعتماده علي زاوية سقوط الشعاع الشمسي

الخلاصة

هذه الدراسة تناولت إستنتاج علاقة رياضية لحساب نسبة التركيز المضاعف البسيط و ذلك بإهمال معامل الإمتصاص للعوكس وباستخدام تقنية تتبع الشعاع في بعدين و قانون سنيل و بعض العلاقات الرياضية المثلثية. وأستخدمت هذه العلاقة لدراسة تأثير زاوية ميل المرايا علي الرأسية ونسبة طول المرايا إلي عرض المستقبل، علي نسبة تركيز الشعاع الشمسي وتوزيعه علي المستقبل، و خلصت هذه الدراسة إلي أنه بزيادة زاوية ميل المرايا علي الرأسية تزداد نسبة التركيز ويكون مرتكز في المنتصف. وبزيادة النسبة بين طول المرايا إلي عرض المستقبل تزداد نسبة التركيز ولكن لفترة زمنية أقل بسبب و زاوية الميل الشعاع الشمسية β ، كما إستنتج من هذه النتائج إمكانية الإستفادة من هذه العلاقة للحصول علي أفضل تصميم للمضاعف البسيط.

المراجع

- [1] M Kaltschmitt, W. Streicher, and A. Wiese, *Renewable Energy 2007*: Springer Berlin Heidelberg New York 590.
- [2] S P Sukhatme, *Principles Of Thermal Collection and Storage*, McGraw-Hill, New Delhi 1991.
- [3] K Soteris, *Solar energy engineering: processes and systems*. Vol. 1. 2009. 756.
- [4] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Int, New York, 1991.
- [5] عادل جمعة ضيايف، المجمعات الشمسية الحوضية ذات المقطع العرضي قطع مكافئ، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة طرابلس، 2007ف.
- [6] M.A. Ramaswamy, G. Srilakshmi. Venkatesh V, and Badri S Rao , *Global Review of Solar Tower Technology 2014*, Center for Study of Science, Technology and Policy: Karnataka, INDIA.
- [7] C Frohlich and R.W.Brusa, *Solar Radiation Variation in Time*, Sol.Phys, 1981,74.209.
- [8] P. Robert, H. Klaus, H.Peter, and B. Reiner, *Solar Thermal Power Plants*. FIZ Karlsruhe – Leibniz Institute 2013.
- [9] Marten A Green, *An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers*, John Wiley & Sons Inc 1982.
- [10] J. S. Hsieh, *Solar Energy Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1986.
- [11] سول وايدر، مقدمة في الطاقة الشمسية (لطلبة العلوم والهندسة)، ترجمة: يوسف مولود، شاكور جابر شاكور، خليل إبراهيم، عماد ممدوح، جامعة الموصل، 1998ف.
- [12] J. Song, J.Ma, Z.Zhan, Y.Dia. *Optical Analysis and Optimization of the Linear Fresnel Collector's Mirror Field*, IFEESM2015, 474-478.
- [13] R.P.Nadi, V.M.Moll. *Optical Analysis of a Curved Slats Fixed Mirror Solar Concentrator by a Forward Ray Tracing Procedure*. Optical Society of America 52.2013.7389-7397.
- [14] Senthil R, Araavind. S, Vigneshwar.K. *Optical and Thermal Analysis of Concentrated Solar Thermal Collectors: A Review*. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2017;8(12) 760-766

-
- [15] B.S.Magal, Solar Power Engineering (1986), Tata Mc Graw- HILL (1990), second reprint (1994).
- [16] K. Frank, J.F.Kreider, Principles of Solar Engineering, Hemisphere Publishing Corporation, 1978.
- [17] Rabel, A Comparison of Solar Concentrators, solar energy, 18.1976, 93-111.
- [18] Amirtham, V, Arasu, S,T, Sornakumar, Performance Characteristics of the Solar Parabolic Trough Collector With Hot Water Generation System, Thermal Science, vol 10,NO 2,2006, 167-174.
- [19] K.Bordoloi, T. Murray, F. Bynum and E . Chaves, Optical and Thermal Performances of a half-circular cylindrical concentrator ,Solar energy intenational progress. (1980), vol (1) p.p 351-377.
- [20] Brian Norton, Solar process Heat: Distillation, Drying, Agricultural and Industrial Uses, centre for Sustainable Technologies University of Ulster.(2004).
- [21] H.G.Riveros, A.I.Olive, Graphical Analysis of Sun Concentration Collectors, Solar Energy, Vol.36.NO.4.PP313-322(1986).
- [22] Duffie. J.A., and W.A. Beckman (1980), Solar Engineering of Thermal Processes. 333-335, John Wiley and Sons, New York, 1980.