محاكاة تحلية المياه المالحة بواسطة اللواقط المركزة للأشعة الشمسية الأسطوانية - المكافئة

البشير الشواشي[١]، سليمان القابسي[٢]

١ : أستاذ مساعد ، قسم الهندسة الكيميائية
٢ : أستاذ ، قسم الهندسة المدرسة القومية للمهندسين بقابس- شارع عمر ابن الخطاب ٦٠٢٩ العنوان: الجمهورية التونسية

E-mail : Bechir.Chaouachi@enig.rnu.tn , slimane.gabsi@isetsf.rnu.tn

الملخص

إن الدراسة المرجعية التي وقع القيام بها حول التحويل الحراري للطاقة الشمسية بينت أن اللواقط الشمسية المسطحة تتطلب العمل تحت ضغط منخفظ لغلي الماء تحت درجات حرارة لا تتجاوز 80 درجة مئوية في الغالب. وهي مؤهلة أكثر لتسخين الموائع. و لتدارك هذه السلبيات يمكن استعمال اللواقط المركزة للأشعة الشمسية من النوع الإسطواني- المكافئ التي تمكن من الوصول إلى ما يقارب 300 درجة مئوية. هذه اللواقط تمكن من غلي المياه المالحة تحت ضغط أكبر أو مساوي للضغط الجوي العادي و لها مردود يفوق مردود اللواقط الشمسية المسطحة. و بإعداد برامج حسابية و محاكاة تمكنا من تحديد مقاييس مختلف عناصر وحدة شمسية لتحلية المياه المالحة. أما النتائج الحسابية المتحصل عليها فقد بينت أن استعمال لاقط من النوع الإسطواني-المكافئ له قطرالتقاط ظاهر يساوي متر واحد و أنبوب ماص له قطر يساوي 0.010 متر للعمل بنسبة تركيز مرتفعة يمكن أن يعطي ما يقارب سبعة لترات ماء مكرر في اليوم بالمتر المربع وذلك حسب معدل كثافة الدفق الشمسي بالجهة. أما دراسة امكانية الانجاز الاقتصادية فقد بينت أن انجاز وحدة ذات مساحة التقاط تساوي ٣٠ متر مربع ممكن وله مؤشر مردودية مقبول. و نظرا لهذه النتائج المشجعة نحن بصدد دراسة إنجاز وحدة تجريبية تمكننا من التثبت والمقارنة بين النتائج النظرية والتجريبية.

كلمات دالة : طاقة شمسية ، لاقط ، مركز شمسي ، تحلية المياه ، محاكاة ، وحدة.

ABSTRACT

The bibliographical study made on thermal conversion solar energy shows that the plane collectors require a vacuum operation to be able to boil water at temperatures which, in general, do not exceed 80 °C and which they are adequate for the heating of the fluids. To cure these disadvantages, one can use the solar concentrators cylindro-parabolic type which can reach temperatures about 300°C. These concentrators can boil brackish water with pressures equal to or higher than the atmospheric pressure and have an output higher than that of the plane collectors. By working out simulation and calculation programmes, we could determine dimensions of the various elements of a unit of desalination of brackish water. The results obtained show that the use of a cylindro-parabolic concentrator of diameter of collecting apparent equal to one meter and an absorbent tube of diameter equal to 0.01m working with high report/ratio of concentration can

produce nearly seven liters of water distilled per day per m^2 according to the density of the average solar flow of the area. The economic feasibility study shows that the realization of a unit of 30 m^2 surface of collecting is possible and has an acceptable index of profitability. Considering these results encouraging, we are spirit to carry out an experimental unit in order to check and compare the various results.

١. المقدمة

منذ زمن بعيد و قلة وفرة الماء الصالح للشراب تشكل هاجسا وقلقا كبيرين للإنسانية و قد أصبح اليوم متأكدا أكثر من أي وقت مضى [Clerfayt, A., 1967].

إن هذه الحقيقة تدفعنا اليوم إلى الاستعانة بالمياه المالحة و مياه البحر لتوفير حاجياتنا من المياه الصالحة للشراب. و في هذه الظروف فإن وجود طاقة لتحلية هذه المياه بأقل التكاليف و بدون تأثير سلبي على البيئة يعدٌ بالأهمية بمكان. و في هـذا الإطار فإن الطاقـة الشمسيـة تعدٌ من الطاقات المتوفـرة و الغير قابلـة للانقراض ، نظيفـة ، مجانية [Vaillant, J.R., 1978] و عليه يمكن استعمالها في هذا المجال.

إن توليد الحرارة باستعمال الطاقة الشمسية بمعدل درجات حرارة تستجيب للطلبات الصناعية من مائة إلى بعض مئات من الدرجات هي ممكنة التصور باستعمال اللواقط المركزة للأشعة الشمسية و بالتالي فإن هذا العمل يتناول بالدرس تحلية المياه المالحة باستعمال اللواقط المركزة للأشعة الشمسية.

٢. اللواقط المركزة للأشعة

٢-١ كيفية التركيز

يمكّن اللاقط المركز للأشعة من تركيز الأشعة على مساحة صغيرة {الماص} و بالتالي يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية جاهزة للإستعمال. ولإستغلال هذه الحرارة عادة ما يستعمل مائع حامل للحرارة حسب درجات الحرارة المتحصل عليها. إن هذه اللواقط تتلقى الأشعة المباشرة المتأتية من كوكب الشمس ، و تحديد التركيز الطاقي المحلي ينجر عنه استعمال معادلات معقدة في أغلب الأحيان. غير أنه بمعرفة معدل التركيز الهندسي للاقط يمكن الحصول على الموازنات الحرارية للعمل والتي تظهر القوة اللازمة المتوفرة للوحدة التجريبية إلى جانب أشياء أخرى.

٢-٢ المعادلات الخصوصية للعمل

خلال العمل تمتص المساحة الماصة للاقط الطاقة المنبعثة من الشمس و تحولها عن طريق مساحة التبادل إلى مائع حامل للحرارة [Bernard, R. et al., 1980 و Desautel, J., 1979].

هذا التحويل يتم بجدوى حسب نوعية اللاقط من جهة ومستوى الحرارة للمائع الحامل للحرارة من جهة أخرى. بحيث يكون اللاقط مكانا لضياع الحرارة عن طريق المساحات الساخنة التي تتبادل الحرارة مع الوسط الموجودة فيه و ذلك بالإشعاع أو الحمل الطبيعي أو المقوى.

إن المعادلة التي تحدد مثل هذا العمل أثناء وجود نظام مستقر هي:

$$P_a = P_u + P_e \quad (١)$$

أما قوة الأشعة الممتصة (Pa) فهي:

$$P_a = E \,.\, \rho \,.\, C.\tau.\alpha \quad (٢)$$

أما الطاقة المتوفرة فيمكن استغلالها في صورة حرارة كامنة أو محسوسة و في هذا الإطار سنختصر على الحرارة المحسوسة بحيث تكون القوة الصالحة كما يلي:

$$P_u = q.\ C.\ (\theta_s - \theta_e) \quad (٣)$$

أما بالنسبة لقوة ضياع الحرارة فيمكن الحصول عليها كما يلي:

$$P_e = C_P.(\theta_{moy} - \theta_a) \quad (٤)$$

حيث أن معدل درجة حرارة الماص تحسب كالآتي:

$$\theta_{moy} = \frac{3\theta_S + \theta_e}{4} + \Delta\theta \quad (٥)$$

و بتعويضنا Pa, Pu, Pe بالعبارات المسندة لهم تصبح المعادلة (١):

$$E.\rho.\alpha.\tau.C = q.C.(\theta_S - \theta_e) + C_P\left[\frac{3\theta_S + \theta_e}{4} + \Delta\theta - \theta_a\right] \quad (٦)$$

$\Delta\theta$ هي فارق الحرارة الموافق للتبادل الحراري بين المساحة الماصة و المائع الحامل للحرارة.

إن اللاقط الشمسي المركز للأشعة يتضمن بالأساس ماصا مبادلا للحرارة و هو موضع ضياع حراري بالحمل والإشعاع من ناحية الجهة المضاءة و ضياع آخر بالإيصال من الناحية التي تحمل المبادل الحراري.

إن المعادلة التي تعبر عن الإيصالية الظاهرة للضياع الحراري هي في الغالب متشعبة كثيرا فهي تأخذ بعين الاعتبار تأثير هذا الضياع بين أوساط في الغالب لها درجة حرارة مخالفة للدرجة الجوية العادية و يمكن أن نعبر عنها كما يلي:

$$C_P = h_r + h_{C+} h_{ar} \qquad (٧)$$

h_{ar} : الإيصالية الخلفية و تعطى بالمتر المربع لمساحة الماص باستعمال المعادلة التالية:

$$h_{ar} = \frac{S_r}{s} \frac{\lambda_{ar}}{e} \frac{\left(\theta_{moy} - \theta_{ar}\right)}{\left(\theta_{moy} - \theta_a\right)} \qquad (٨)$$

بالنسبة لمساحة الماصة المحمية بالبلور فإن الإيصاليات الفرعية مقسمة كالآتي:

h_{c1} و h_{r1}: هما الإيصاليات الداخلية بالحمل و الإشعاع

h_{c2} و h_{r2}: هما الإيصاليات الخارجية بالحمل و الإشعاع

أما المعادلات التي تحدد هذه الإيصاليات عندما يكون معدل درجة حرارة الماص محصورة بين مائة و خمس مائة درجة فهي:

$$h_{r1} = \varepsilon_{ac} \cdot \sigma \frac{\left(T_{moy}^4 - T_{Cmoy}^4\right)}{T_{moy} - T_{Cmoy}}$$

$$h_{C1} = 3{,}30 \ W/m^2.K$$

$$h_{r2} = \frac{\varepsilon_C . \sigma \left(T_{cmoy}^4 - T_a^4\right)}{T_{Cmoy} - T_a}$$

$h_{C2} = 7{,}5 + 4V$ مع $0 < V < 4$ m/s

أو

$h_{C2} = 7{,}3\ V^{0,30}$ مع $4 < V < 40$ m/s

$$\varepsilon_{ac} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_C} - 1}$$

أما المعادلة التي تمكّن من تحديد ضارب التبادل الحراري الكلّي للجهة المضاءة فهي:

$$h_r + h_C = \frac{1}{\frac{1}{h_{C1} + h_{r1}} + \frac{1}{h_{r2} + h_{C2}}}$$

٣. المردود الحيني للاقط

إن المعادلة التي تعطينا المردود الحيني الكلي للاقط هي:

$$\eta = \frac{P_u}{C.E} \qquad (٩)$$

أي بعد التعويض

$$\eta = \rho \cdot \tau \cdot \alpha - \frac{C_P(\theta_{moy} - \theta_a)}{C \cdot E} \qquad (١٠)$$

أما المردود الحيني الداخلي فيحدد كما يلي:

$$\eta_i = \frac{P_u}{P_a} \qquad (١١)$$

٤. التركيز الهندسي الفعلي للاقط المركز

إذا اعتبـرنا أن مدخـل المحوّل يوجد في السطح البؤري للاقط فإن التركيز الهندسي الفعلي الأكبر هو [Pasquetti, R., 1987]:

$$C_{e\,max} = \frac{sin\theta}{\pi \cdot sin\gamma_t} \qquad (١٢)$$

عندما تكون θ = ٢/π فإن التركيز الهندسي الفعلي الأكبر يصبح:

$$C_{e\,max} = \frac{1}{\pi \cdot sin\gamma_t}$$

٥. تحديد مقاييس اللاقط المركز الأسطواني المكافئ

٥-١ تحديد الطول البؤري

يحسب الطول البؤري بالإعتماد على المعادلات التالية [Welford, W.T., Winstonm R., 1978]:

$$\theta = 2\ Arc\ tg[D/4f]$$

$$f = \frac{D}{4tg(\frac{\theta}{2})}$$

حيث نتحصل على الطول البؤري f كما يلي:

٢-٥ تحديد طول اللاقط

إن معادلة البؤرة هي الآتية:

$$y^2 = 4\,f.x$$

وعندما نكون في طرف البؤرة تصبح المعادلة كالآتي:

$$(D/2)^2 = 4f.H$$

ونتحصل على طول اللاقط H:

$$H = D^2 / (16.f)$$

٣-٥ حساب مقاييس اللاقط المركز الأسطواني المكافئ

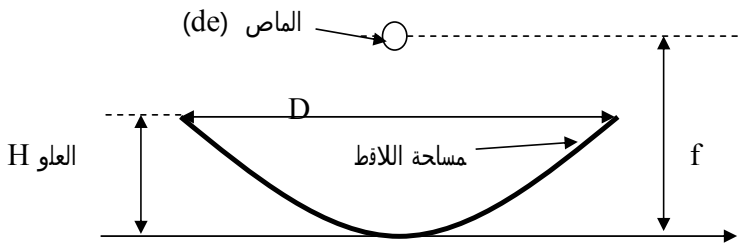
لحساب مقاييس هذا اللاقط استعملنا مثال "Eufrat" [Bouges, B., 1992] لحساب كثافة الدفق الحراري الشمسي. لقد وقع الاختيار على هذا المثال الحسابي نظرا لأنه يعطي نتائج اقرب للنتائج المتحصل عليها من محطة الرصد الجوي بمدينة " قابس" من أي مثال آخر من الأمثلة التي جرّبت.

بعد ذلك قمنا بإنجاز برنامج حسابي مكننا من حساب مختلف المقاييس و المعطيات اللازمة لتقييم هذا اللاقط باعتماد المتغيرات التالية :

جدول ١: المتغيرات و مجال تغيرها

المتغيرات	مجال التغير
كثافة الدفق الشمسي	١٠٠٠-١٠٠ (W/m^2)
دفق المائع الحامل للحرارة	٢٢,٥-١,٣ (l/h)
التركيز الهندسي	٦٨,٤-٣٠
درجة حرارة المائع الحامل للحرارة	٧٠٠ -١٠٠ (°C)

أما اللاقط المتحصل عليه فهو مبين على الرسم التالي:



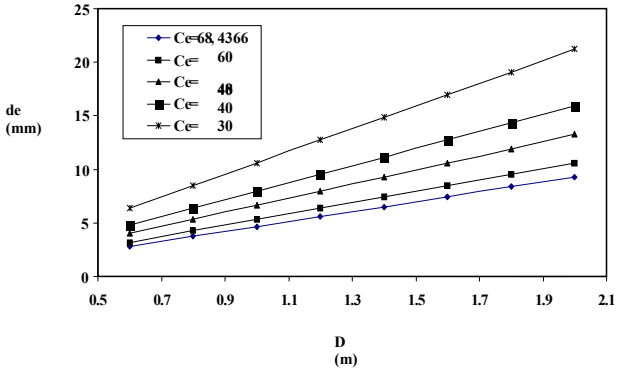
٦. تحليل النتائج

٦-١ استغلال النتائج

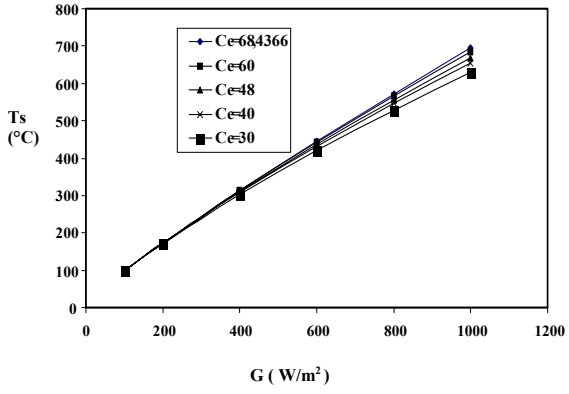
إن النتائج الحسابية وقع الحصول عليها باعتماد الظروف التالية:

- درجة الحرارة الجوية تساوي ٢٥ درجة
- درجة حرارة خروج المائع الحامل للحرارة الصغرى ١٠٠ درجة
- درجة حرارة دخول المائع الحامل للحرارة إلى اللاقط ٢٥ درجة

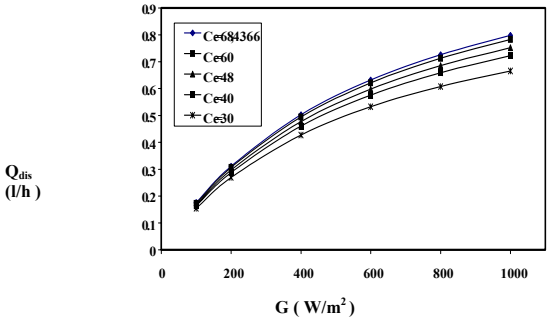
أما استغلال هذه النتائج فقد وقع في صورة الرسوم البيانية التالية:



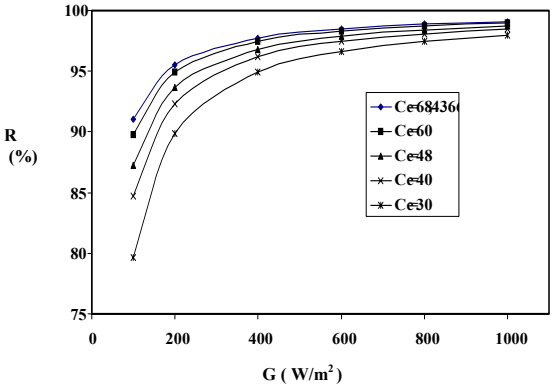
رسم ١: تغير قطر الماص بتغير قطر اللاقط المركز للأشعة



رسم ٢: تغير درجة حرارة خروج المائع الحامل للحرارة بتغير كثافة الدفق الشمسي
وذلك بالنسبة لمساحة الالتقاط تساوي ٢م مربع و قطر ماص يساوي ١٠مم



رسم ٣: تغير دفق التقطير بتغير كثافة الدفق الشمسي وذلك بالنسبة لمساحة لالتقاط تساوي ٢م مربع



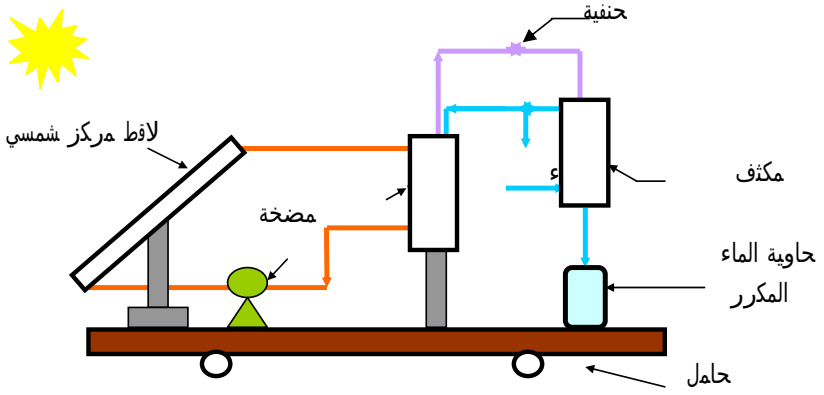
رسم ٤: تغير المردود الحراري الحيني الداخلي بتغير كثافة الدفق الشمسي وذلك بالنسبة لمختلف التركيزات

تحاليل الرسوم البيانية

إن الرسم رقم١ يبيّن أن قطر الماص يكبر بكبر قطر اللاقط بالنسبة لكل تركيز هندسي غير أنه يصغر بكبر التركيز الهندسي وذلك لكل مقاييس قطر اللاقط. أما الرسم رقم ٢ فإنه يبيّن أن درجة حرارة خروج المائع الحامل للحرارة تكبر بكبر كثافة الدفق الشمسي وذلك بالنسبة لمختلف دفق المائع الحامل للحرارة غير أن درجة الحرارة تكبر بصغر هذا الأخير. كما أن الرسم رقم٣ يبيّن أن دفق التقطير يكبر بكبر كثافة الدفق الشمسي وذلك بالنسبة لمختلف درجات التركيز الهندسي في حين أنه يكبر كذلك بكبر التركيز الهندسي. و أخيرا نلاحظ أن الرسم رقم ٤ يبيّن أن المردود الحراري الحيني الداخلي يكبر بكبر كثافة الدفق الشمسي و بكبر درجة التركيز الهندسي. و من خلال الدراسة لكل هذه المعطيات يمكن تحديد المقاييس الفياسية التي تستجيب لحاجتنا من الماء المكرر فكان اختيارنا للمقاييس التالية:

- قطر الماص ٨/١٠ مم - قطر فتحة اللاقط ١ م
- طول اللاقط ١ م - علو اللاقط يساوي مسافة التركيز (f=H)
- دفق المائع الحامل للحرارة يساوي ٠,٠٠١ كغ/ث

و تصميمنا للوحدة التجريبية التالية [Anglaret, P., et Kazmierczak, S. , 1985, Wuithier, P., 1972] :



رسم 5: رسم تقريبي للوحدة النموذجية

وصف الوحدة و كيفية عملها

هذه الوحدة تتكون من اللاقط للحرارة ، الذي يضمّ الأنبوب الماص المولد للطاقة الحرارية وهو يتابع باستمرار حركة الشمس بواسطة رافعات تعمل بصفة آلية ، و مبخر و مضخة و مكثف و حاوية للماء المكرر ومن منصة حاملة و متحركة.

أثناء العمل و بعد ملئ المبخر بالماء المالح و وضع الوحدة تحت أشعة الشمس نشغل مضخة دوران المـائع الحامـل للحرارة و كذلك ماء التبريد في مستوى المكثف. وعند بلوغ درجة حرارة تمكن من توليد البخار يصعد هذا الأخير نحو المكثف و بتبريده نتحصل على الماء المكرر. أما دفق الماء المكرر فهو مرتبط بالدرجة الأولى بطاقة اللاقط و درجـة حرارة المكثف.

٦-٢. مقارنة الإنتاج بإنتاج اللواقط المسطحة

إن اللواقط المسطحة لا تمكّن ، عموما ، من تجاوز ١٣٠ درجة مئوية في مستوى المساحة الماصة. بحيث أن درجة الحرارة هذه ، الضعيفة نسبيا ، تحد من مردود الديناميكا الحراري للاقط و بالتالي فإن هذه اللواقط لا يمكنها توليد قوى حرارية كبيرة. و لزيادة مردود الديناميكا الحراري ، لا بد من زيادة درجة حرارة منبع الحرارة (مساحة الماص) و بالتالي تركيز الأشعة الشمسيـة. و من ناحية أخرى ، إذا اعتبرنا أن اللاقط المسطح هو لاقط مركز له تركيز هندسي (Ce = 1) و إذا نظرنا إلى الرسم رقم ٣ فإننا نلاحظ أن إنتاج الماء المكرر يكبر بكبر درجة التركيز. و لهذا يمكننا أن نقول أن مردود اللواقط المركزة للأشعة أكبر من مردود نظيراتها المسطحة.

٦-٣. الامكانية الاقتصادية للإنجاز

أ. نوعية المحاكاة

إن هذه المحاكاة هي من النوع النظري القابل للإنجاز و يخص وحدة نموذجية صغيرة الحجم لاستعمالها في التجارب العلمية قصد مقارنة النتائج النظرية بالتطبيقية وإيجاد الحلول المناسبة للفوارق إن وجدت وتحسين المردودية.

ب. الجدوى الاقتصادية للوحدة

إن الجدوى الاقتصادية لابد أن تدرس على وحدة مخصصة للإنتاج وبالتالي أخذ مساحة التقاط هامة نوعا ما: مثلا استعمال ٣٠ م^{٢}.

إن مدة خلاص تكلفة الوحدة يمكن تقييمها بعدد الأعوام كالآتي:

$$n = S/s$$

حيث أنه خلال هذه المدة يكون مجموع الأرباح المتحصل عليها n.s يساوي مجموع المصاريف S.

أما مردودية العملية ككل فهي:

$$R = 1/n$$

و مؤشر المردودية أو الجدوى فهو قاسم الأرباح المتحصل عليها خلال مدة صلوحية استعمال هذه الوحدة (v) علـى مجموع المصاريف :S

$$r = v.s/S$$

جدول ٢: المصاريف و المداخيل بالنسبة لوحدة ذات مساحة التقاط (٣٠ م^{٢}) ومعدل قوة إشعاع ($G = 700\ W/m^2$)

	عدد اللترات	الثمن (بالدولار)	الثمن الجملي (بالدولار)
التقييم السنوي باستعمال الطاقات الأخرى	١	٠,٠١	٠,٠١
الإنتاج السنوي للوحدة	٦٠٢٣٨,٧٨	٦٠٢,٣٨٧٨	s = ٦٠٢,٣٨٧٨
*تكلفة الوحدة	-	٣٤٢٢,٤١٤	S = ٣٤٢٢,٤١٤

*تكلفة الوحدة تتضمن ثمن مختلف العناصر المكونة لها مع ثمن استهلاك الطاقة المعدة للضخ عند التبريد و التسخين

من خلال هذا الجدول نلاحظ أن مردودية العملية تساوي% ١٧,٦ والمدة التي تستغرقها عملية الإنتاج لتسديد المصاريف تساوي حوالي ٦ سنوات ومدة صلوحية الوحدة يمكن أن تتجاوز هذا الرقم بسهولة وبالتالي فإن مؤشر المردودية يعتبر إيجابيا ومشجعا.

٧. الخاتمة

من خلال هذا العمل تمكنا من القيام بدراسة حول الطاقة الشمسية وكيفية تحولها إلى طاقة حرارية. هذه الدراسة بينت أن اللواقط المسطحة لها مردودية ضعيفة نظرا لضعف درجات الحرارة المتحصل عليها بإستعمال هذه اللواقط و التي لا تصل إلى درجة غليان الماء المالح تحت الضغط الجوي العادي. و من هنا فكرنا في استعمال اللواقط المركزة للأشعة

التي لها مردود أكبر من سابقاتها ويمكننا بواسطتها الحصول على درجات حرارة تفوق المائة درجة بكثير. ثم بعد ذلك قمنا بإعداد برامج حسابية مكنتنا من تحديد مختلف مقاييس عناصر الوحدة التجريبية المزمع إنجازها. أما الدراسة الأوليّة لإمكانيّة الإنجاز الإقتصادية ، فقد بيّنت أنّ إنجاز وحدة ذات مساحة التقاط تساوي ٣٠ مترا مربّعا ممكنة وذات جدوى اقتصادية.

المصطلحات

C : سعة الحرارة النوعية	(J/kg°C)
Cp : الإيصالية الحرارية الظاهرة	($W/m^2°C$)
D : القطر الظاهر للاقط	(m)
E : كثافة الدفق الطاقي الشمسي حول اللاقط	(W/m^2)
e : السمك	(m)
G : كثافة الدفق الطاقي الشمسي حول اللاقط	(W/m^2)
f : الطول البؤري	(m)
H : علو اللاقط	(m)
h : الإيصالية الحرارية	($W/m^2°C$)
n : المدة الزمنية	(ans)
L : الطول	(m)
q : الدفق	(kg/s)
P: القوة الحرارية	(W/m^2)
R : المردود	(%)
Sr : المساحة الحقيقية للماص	(m^2)
S : المصاريف	($)
s : المساحة الظاهرة الماص	(m^2)
s : المرابيح	(an/$)
T : درجة الحرارة	(K)
v : مدة الصلوحية	(ans)
θ: درجة الحرارة	(C°)
λ:موصولية الحرارة	($W/m^2°C$)
γ: نصف القطر الظاهر للشمس	(°)
α: ضارب الامتصاص	
τ: ضارب نقل الإشعاع	
σ: ثابتة STEFAN تساوي $5.67\ 10^{-8}$	(W/m^2K^4)
ε : ضارب الإرسال الإشعاعي	

الإشارات

a : الماص

ac: الماص و الغطاء

ar : الخلفي

c : الغطاء

cmoy : المعدل بالنسبة للغطاء

e : دخول

s : خروج

المراجع

1. Anglaret, P., et Kazmierczak, S. (1985) Technologie – génie chimique. Lavoisier, Paris.
2. Bernard, R. et al. (1980) Le rayonnement solaire ; conversion thermique et application. 2ème édition. Technique et Documentation Lavoisier, Paris.
3. Bourges, B. (1992) Climatic data handbook for Europe. Edition kluwer, Dordrecht.
4. Clerfayt, A. (1967) La production d'eau potable par dessalement. Edition C.E.B.E.DOC, France.
5. Desautel, J. (1979) Les capteurs héliothermiques. EDISUD / technologies douces, Paris.
6. Pasquetti, R. (1987) Chauffage des fluides par capteurs solaires à concentration ». Technique de l'ingénieur, Paris.
7. Vaillant, J.R. (1978) Utilisations et promesses de l'énergie solaire ». Editions Eyrolles, Paris.
8. Welford, W.T., Winstonm R. (1978) The optics of non imaging concentrators ; Light and solar energy . Academic press, New York, San Francisco, London.
9. Wuithier, P. (1972) Le pétrole raffinage et génie chimique. 2ème édition. Technip, Paris.