

## اختيار الحجم الاقتصادي الأمثل لمخمر دفعي مغلق مزود بالطاقة الشمسية ضمن الشروط الحارة للتخمير اللاهوائي

الدكتور صلاح داوود\*

أحمد فارس زيتون\*\*

(تاريخ الإيداع 3 / 9 / 2014. قُبل للنشر في 24 / 12 / 2014)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير حجم المخمر على المتطلبات الحرارية اللازمة لإتمام عملية التخمير وذلك بغية الوصول الى الحجم الاقتصادي الأمثل له. تمت الدراسة على مخمر دفعي مغلق مزود بلاقط شمسي، حيث جرى قياس المتطلبات الحرارية له، وعند نفس الشروط المحيطة تم تغيير حجم هذا المخمر من أجل تحديد مقدار التغير النسبي للمتطلبات الحرارية اللازمة بهدف الحصول على حجم مخمر يتطلب أقل كمية من الطاقة ضمن الشروط الحارة للتخمير اللاهوائي.

الكلمات المفتاحية : مخمر - لاقط شمسي - حجم المخمر -الشروط الحارة

\* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين -اللاذقية- سورية.  
\*\*مشرف على الأعمال- قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين -اللاذقية- سورية.

## Choosing the Optimal Economic Size of the Batch Closed Digester Providing with Solar Energy During Thermophilic Anaerobic Digestion

Dr. Salah Dawood\*  
Ahmed Fares Zaytoun\*\*

(Received 3 / 9 / 2014. Accepted 24 / 12 / 2014)

### □ ABSTRACT □

This research aims to study the effect of the digester size on its thermal requirements in order to reach the optimal economic size to him.

Where were studied a batch closed digester with solar collector, where he was measuring a thermal requirements at the same ambient conditions with the change of the size of this digester, in order to note the relative change of the heat requirements, and to get the optimal size that requires the least amount of energy in thermophilic anaerobic digestion.

**Keywords :** Digester; Solar Collector; Digester Size; Thermal Isolator

---

\*Professor; Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen; Lattakia, Syria.

\*\*Work Supervisor.; Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen; Lattakia, Syria.

**مقدمة :**

يشهد العالم انخفاض المخزون الاحتياطي العالمي من النفط والغاز الخام. ويتوقع في ظل ازدياد الطلب على الطاقة الكهربائية نضوب النفط خلال عقود قليلة من الزمن. ومن هنا يأتي دور الطاقة البديلة كحل لا يمكن تجاوزه لتعويض الطلب المتزايد على الطاقة. إذ تسهم الطاقات البديلة بحوالي 16% من مجمل الاحتياجات العالمية من الطاقة المطلوبة حالياً، وتقدر مساهمة طاقة الغاز الحيوي بنحو 10% منها. وفي سوريا ما زالت المحاولات والدراسات حول استثمار الغاز الحيوي بسيطة وبدائية ، وبالتالي يجب تكثيف الدراسات العلمية في هذا المجال، والمساهمة في توسيع انتشار هذه التقنية وذلك لتغطية جزء من حاجة القطر من الطاقة ، وكذلك لإنتاج سماد عضوي يؤدي استخدامه إلى رفع الإنتاجية الزراعية، كما يسهم استخدام هذه التقنية في تحسين المستوى الصحي الاجتماعي والبيئي للعاملين في هذا القطاع ولأماكن الاستثمار.

يتم إنتاج الغاز الحيوي باستخدام مخمرات لا هوائية محكمة ومعزولة حرارياً وتعمل بظروف محددة كما أنها مجهزة بخلاطات لتحريك محتويات المخمر ( فضلات ، روث حيوانات، ..... ) وذلك بهدف تسريع عملية التخمر [1]. تتحلل المواد العضوية المتوضعة داخل المخمرات بواسطة بكتريا خاصة عند شروط حرارية ثابتة وبغياب كامل للأوكسجين منتجة الغاز [1]. يعتمد تركيب الغاز الحيوي على نوعية المواد الخام. يعتبر غاز الميثان وثنائي أوكسيد الكربون والهيدروجين والنيتروجين وكذلك بخار الماء وبعض كبريت الهيدروجين أهم مكونات هذا الغاز. يؤثر في عملية إنتاج الغاز عدة عوامل أهمها درجة حرارة الخليط ودرجة حموضته، إضافة إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين وزمن البقاء في المخمر، وكذلك معدلات التحميل، وقد أظهرت الدراسات [2-3] فعالية التخمر ضمن المخمرات اللاهوائية في شروط درجات حرارة فعالة. لذلك لا بد لنا من دراسة العوامل المؤثرة الأخرى في إنتاج الغاز الحيوي. ومن هذه العوامل عامل الحجم ودراسة تأثيره على الضياعات الحرارية في المخمر، بغية الحصول على أفضل شروط لتصميم وعمل هذا المخمر، وذلك بالاستفادة من مجمع شمسي يقوم بتأمين درجة الحرارة المناسبة لعمل المخمر في الساحل السوري.

**أهمية البحث وأهدافه :**

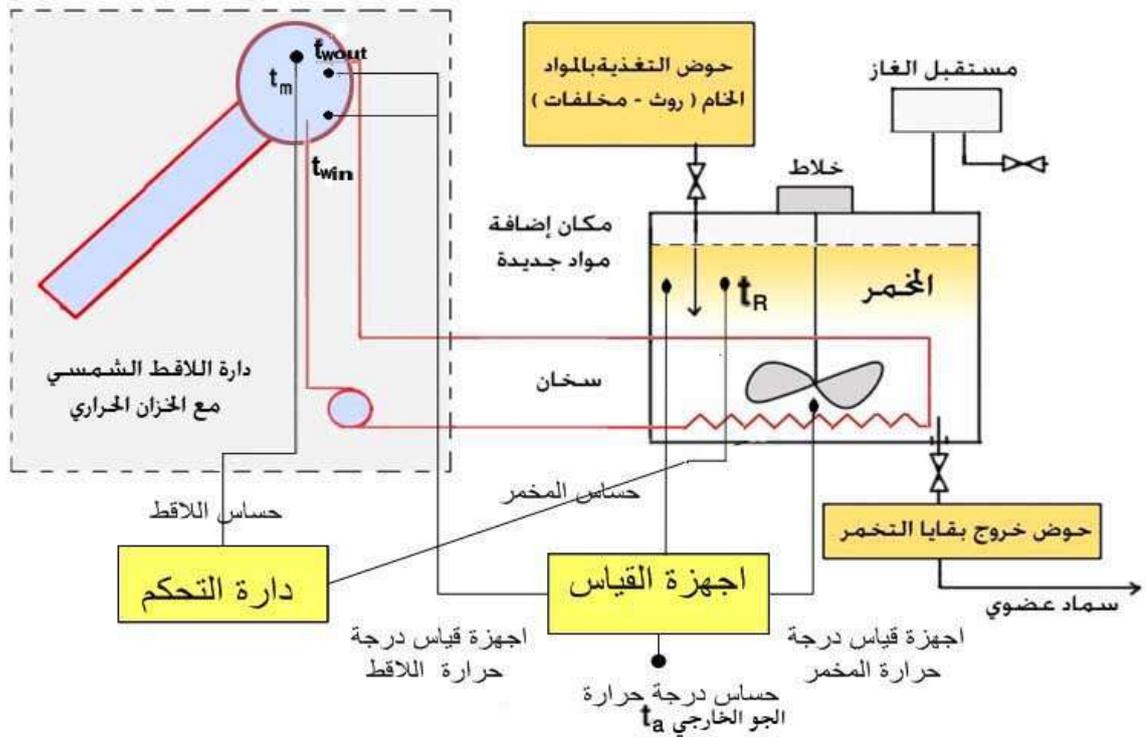
تكمن أهمية البحث في دراسة إمكانية تحسين أداء المخمرات اللاهوائية لإنتاج الغاز الحيوي عن طريق تأمين الشروط التصميمية والاستثمارية المثلى لعمل هذه المخمرات، حيث سنقوم على اختيار الحجم الاقتصادي الأمثل لمخمر دفعي مزود الشمسية ضمن الشروط الحارة للتخمر اللاهوائي، والذي يؤمن إنتاج الغاز الحيوي النظيف وزيادة معدل إنتاجه وكذلك الحصول على مادة عضوية مخمرة عالية الجودة، إضافة إلى تقليل الفترة الزمنية اللازمة للحصول على المنتج المطلوب.

**طرائق البحث ومواده:**

تعتمد طريقة البحث على حساب كمية الحرارة اللازمة لعملية التخمر المثالية وكمية الحرارة الضائعة من المخمر أثناء فترة التخمر والتي سنقوم بالتعويض عنها في دراستنا هذه بواسطة اللاقط الشمسي الذي نود دمج مع دارة المخمر المدروس بحيث يقوم اللاقط الشمسي بتأمين الماء الساخن الذي يعوض المخمر عن كمية الحرارة الضائعة عن طريق مبادل حراري موجود داخل المخمر كما يظهر على الشكل (1).

واعتماداً على ذلك سنقوم بوضع الموديل الرياضي المناسب للحالة المدروسة من أجل الحصول على الحجم الأمثل للمخمر.

تتكون الدارة المدروسة كما هو مبين بالشكل (1) من مخمر وهو عبارة عن خزان محكم الإغلاق مصنوع من الحديد المزيق سماكة 2mm، مجهز بفتحة لدخول المواد المختمرة من الأعلى، ومزود بسكر 3 أنش من أجل إخراج المواد من الأسفل وهو معزول بالصوف الزجاجي سماكة 2.5cm ومركب على قاعدة معدنية ترفعه عن الأرض، ومزود بمبادل حراري أنبوبي مصنوع من النحاس قطر الأنبوب 16mm وطوله 17m مركب داخل المخمر من أجل سحب كمية الحرارة المطلوبة من اللاقط الشمسي وإعطائها إلى المخمر. ونوع اللاقط الشمسي المستخدم هو لاقط شمسي أنبوبي يميل بزاوية 45 درجة، كما تم تزويده بمجموعة من الحساسات مع دارة تحكم [4].



الشكل (1) مخطط الدارة المنفذة للمخمر مع اللاقط الشمسي

### القسم التجريبي :

يعتمد القسم التجريبي على قياس درجة حرارة الجو والمخمر واللاقط الشمسي كما تم تغيير حجم هذا المخمر لنتيان مدى تأثير الحجم على الضياعات الحرارية عند عوامل انتقال حرارة مختلفة وقد تم إجراء التجربة ضمن الشروط والفرضيات الآتية:

- 1- نفذت التجربة في المنطقة الساحلية.
- 2- تمت تعبئة المخمر حتى ارتفاع 55 cm بالمواد المخمرة وهي روث البقر المخروط مع الماء بنسبة 1/1.
- 3- تم تغيير درجة حرارة المخمر عن طريق دارة التحكم على الدرجة  $43^{\circ}\text{C}$ .
- 4- تم أخذ القراءات المسجلة في جهاز DVR.
- 5- درجة حرارة المخمر هي درجة حرارة الوسط الحسابي ما بين درجة حرارة أعلى المخمر وأسفله.

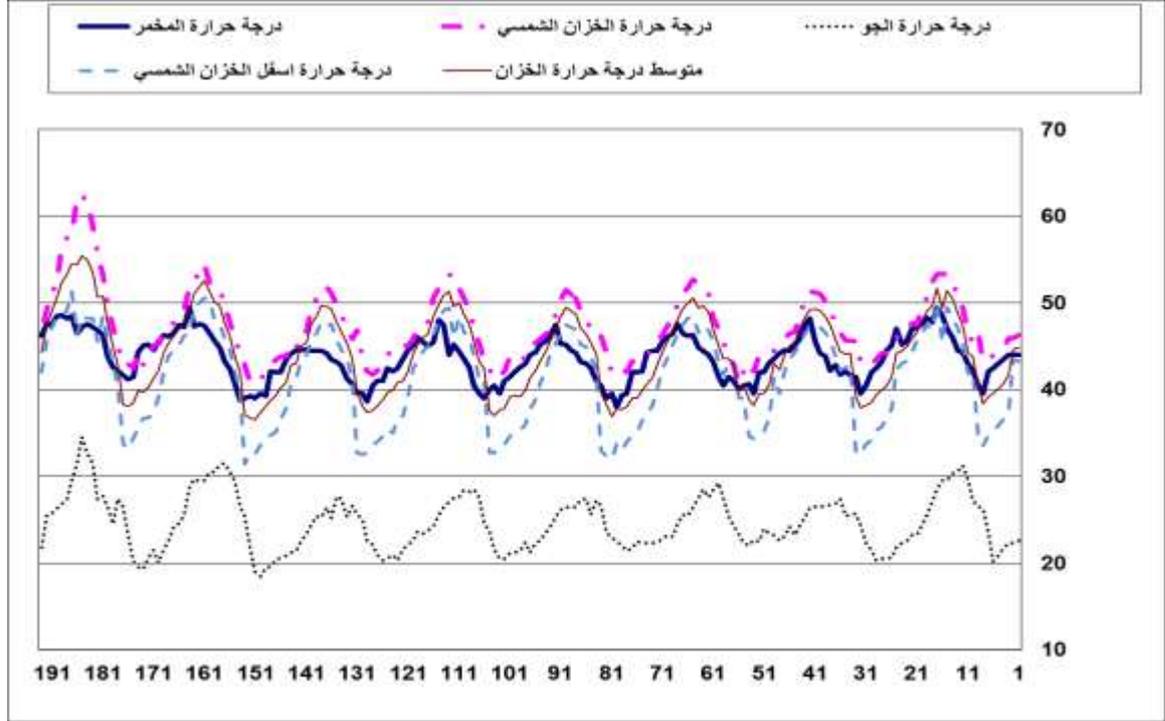
الجدول (1) المواصفات والشروط الخاصة بالتجربة

الواحدة	القيمة	الشروط والمواصفات
Cm	49	D قطر المخمر
Cm	80	H ارتفاع المخمر
Cm	55	ارتفاع المادة
mm	2	سماكة الحديد
Cm	2.5	سماكة الصوف الزجاجي
liter	94.23925	VR حجم المادة المخمرة
liter	150.7828	VD حجم المخمر الكلي
m <sup>2</sup>	1.61	A <sub>R</sub> سطح التبادل في المخمر مع الجو
W/(m <sup>2</sup> .k)	23.3	معامل انتقال الحرارة بالحمل من سطح المخمر للجو الخارجي [5]
W/(m <sup>2</sup> *k)	245	معامل انتقال الحرارة بالحمل من الروبة إلى السطح الداخلي للمخمر [5]
W/(m*k)	81	معامل التوصيل للحديد [6]
W/(m*k)	0.04	معامل التوصيل للصوف الزجاجي [6]
W/(m*k)	399	معامل التوصيل للنحاس [6]
W/(m <sup>2</sup> .k)	1.488	KR معامل انتقال الحرارة الكلي للمخمر
°C	17.8	درجة حرارة المادة الداخلة للتخمير
m <sup>2</sup>	0.555	A <sub>colec</sub> مساحة اللاقط المستخدم
liter	60	V <sub>Tank</sub> حجم الخزان الحراري
Cm	6	سماكة العازل بوليسترين
W/(m*k)	0.03	معامل التوصيل للبوليسترين [6]
L, D <sub>Tank</sub> m	0.98×0.4	أبعاد الخزان الحراري
mm	0.1	سماكة الصاج الداخلي
mm	0.1	سماكة الصاج الخارجي
W/(m <sup>2</sup> *k)	23.3	معامل انتقال الحرارة سطح الخزان للجو الخارجي [5]
W/(m <sup>2</sup> *k)	245	معامل انتقال الحرارة بالحمل من الماء إلى السطح الداخلي للخزان [5]
W/(m <sup>2</sup> *k)	0.584	K <sub>Tank</sub> معامل انتقال الحرارة الكلي للخزان الحراري
m <sup>2</sup>	1.48	A <sub>Tank</sub> سطح التبادل للخزان الحراري مع الجو
kJ/kg*K	4.186	C <sub>pR</sub> السعة الحرارية الكتلية للمادة المخمرة [6]
Kg/m <sup>3</sup>	1038	ρ <sub>R</sub> الكثافة النوعية للروبة

## النتائج والمناقشة :

### توزيع درجة حرارة الجو والمخمر والخزان الحراري :

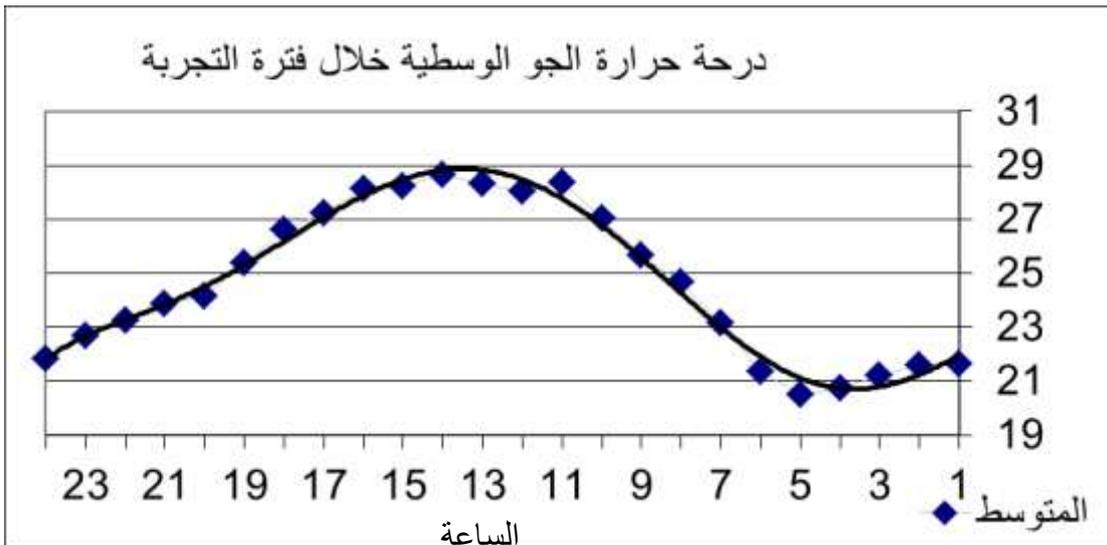
تم إجراء التجربة بتاريخ 5-6-2013 الساعة السابعة صباحاً وانتهت بتاريخ 12-6-2013 الشكل (2) الهدف من التجربة الحصول على درجة حرارة المخمر والوسط الخارجي ودرجة حرارة الخزان الحرارية الوسطية خلال الفترة التي تم إجراء التجربة فيها وإدخالها للموديل الرياضي كتوابت أثناء الحساب.



الشكل (2) تغير درجة الحرارة في المخمر والخزان الحراري والوسط الخارجي أثناء فترة التجربة

### متوسط درجة حرارة الجو :

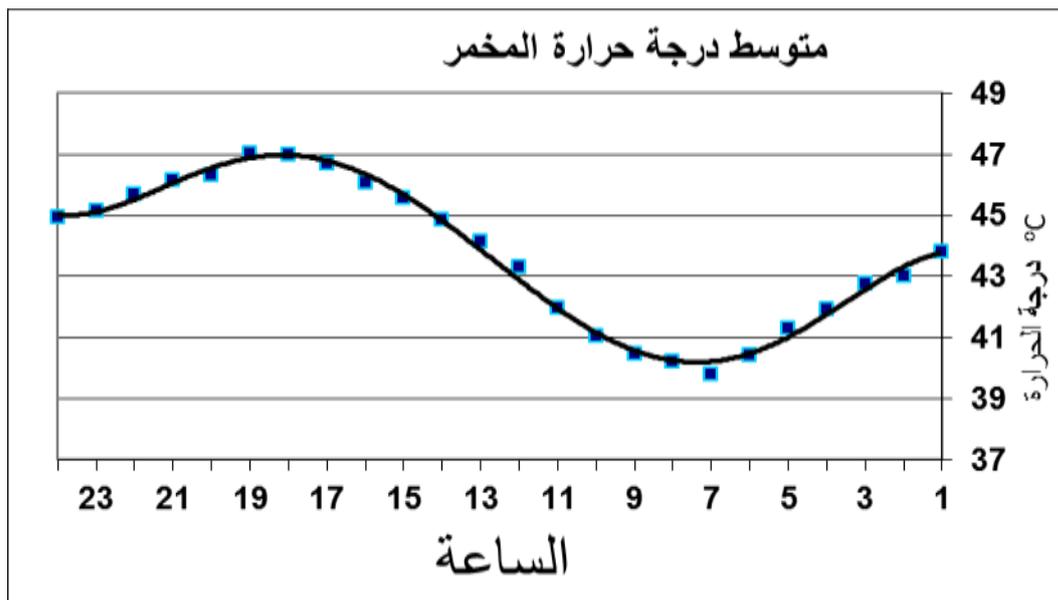
يبين الشكل (3) قيم درجات حرارة الجو الوسطية خلال فترة التجربة.



الشكل (3) القيم الوسطية لدرجة حرارة الجو خلال فترة التجربة

متوسط درجة حرارة المخمر:

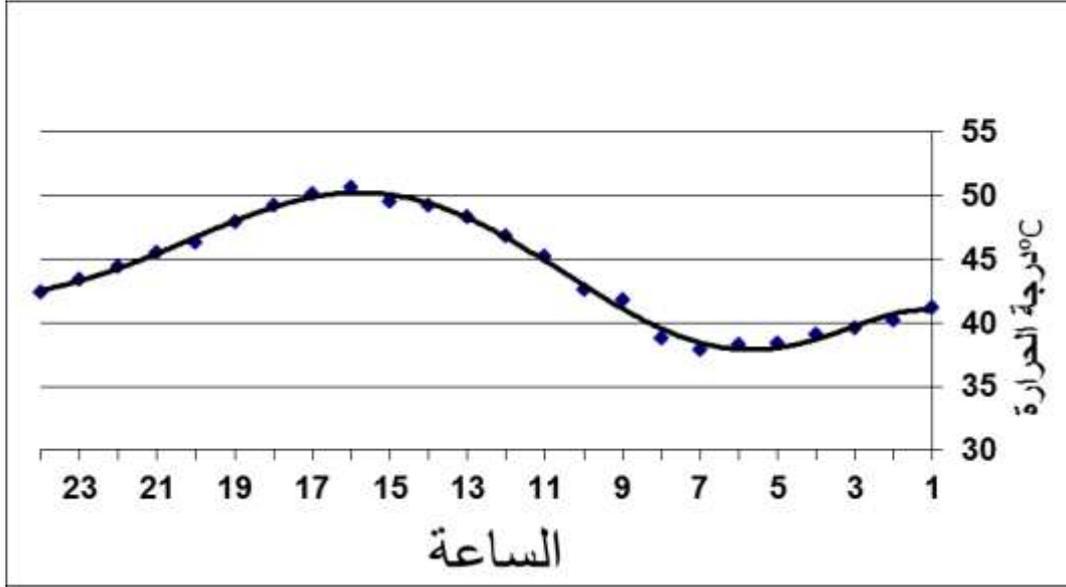
يبين الشكل (4) قيم درجات حرارة المخمر الوسطية خلال فترة التجربة.



الشكل (4) درجة حرارة المخمر الوسطية

متوسط درجة حرارة الخزان الحراري :

يبين الشكل (5) قيم درجات حرارة الخزان الحراري الوسطية خلال فترة التجربة.



الشكل (5) درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية

ومنه نستنتج درجات الحرارة المتوسطة لكل من المخمر والخزان الحراري والجو الخارجي وهذه القيم سيتم اعتمادها في القسم الحسابي الجدول (2).

الجدول (2) القيم التجريبية الناتجة عن التجربة

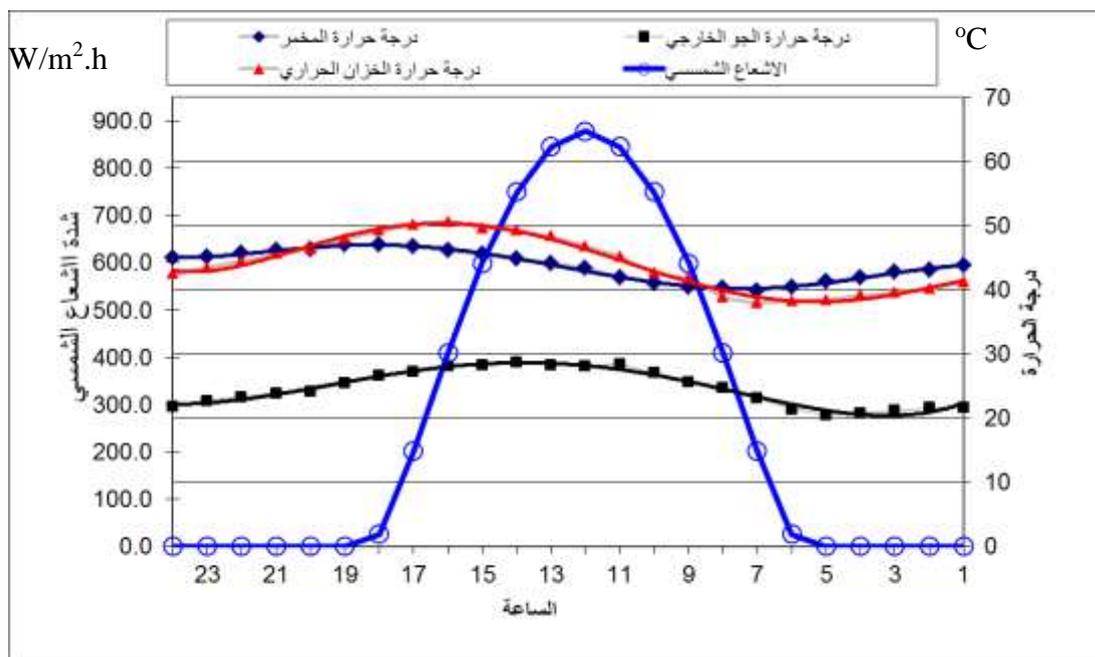
متوسط درجة حرارة الخزان الحراري $t_m$	متوسط درجة حرارة التخمير $t_R$	متوسط درجة حرارة الجو $t_a$
43.8	44	25.6

#### الكسب الحراري الشمسي خلال فترة التجربة :

الكسب الحراري الشمسي خلال فترة التجربة من 2013/6/5 حتى تاريخ 2013/6/12 موضحة بالجدول (3) ،  
ويبين الشكل (6) مخطط تغير الكسب الحراري الشمسي [7] مع تغير كل من درجة حرارة المخمر والخزان الحراري  
والجو الخارجي خلال 24 ساعة.

الجدول (3) الكسب الحراري الشمسي الساعي  $W/m^2.h$  واليومي  $W/m^2.day$ 

المحصلة	06/12/2013	06/11/2013	06/10/2013	06/09/2013	06/08/2013	06/07/2013	06/06/2013	06/05/2013	الساعة/اليوم
26.2	26.6	26.6	23.1	26.6	26.6	26.6	26.6	26.613	6.00
201.6	201.1	201.2	203.2	201.3	201.4	201.5	201.5	201.64	7.00
408.4	406.2	406.5	417.8	406.7	407.0	407.2	407.5	407.86	8.00
598.9	595.3	595.7	615.5	596.1	596.5	597.0	597.5	597.97	9.00
749.5	744.8	745.3	771.4	745.8	746.3	746.9	747.5	748.21	10.00
845.5	840.1	840.6	870.7	841.2	841.8	842.5	843.2	843.95	11.00
878.4	872.7	873.3	904.8	873.9	874.6	875.3	876.0	876.79	12.00
845.5	840.1	840.6	870.7	841.2	841.8	842.5	843.2	843.95	13.00
749.5	744.8	745.3	771.4	745.8	746.3	746.9	747.5	748.21	14.00
598.9	595.3	595.7	615.5	596.1	596.5	597.0	597.5	597.97	15.00
408.4	406.2	406.5	417.8	406.7	407.0	407.2	407.5	407.86	16.00
201.6	201.1	201.2	203.2	201.3	201.4	201.5	201.5	201.64	17.00
26.2	26.6	26.6	23.1	26.6	26.6	26.6	26.6	26.613	18.00
6538.6	6501.1	6505.0	6708.1	6509.2	6513.7	6518.6	6523.8	6529.3	اليومي



الشكل (6) مخطط تغير الكسب الحراري الشمسي مع تغير كل من درجة حرارة المخمر والخزان الحراري والجو الخارجي خلال 24 ساعة

الحساب الرياضي :

الفرضيات والشروط :

1- تم اعتماد الشروط الموضحة بالجدول (1) والقيم الناتجة عن التجربة الموضحة بالجدول (2) ودرجة حرارة

الروبة الداخلة للمخمر هي درجة حرارة الروبة المقاسة عند تعبئة المخمر كما هو موضح بالجدول (3).

الجدول (3) درجة حرارة التخمر والخزان الحراري والجو الخارجي مع درجة حرارة المواد الداخلة

الشروط والمواصفات	القيمة	الواحدة
$t_R$ درجة حرارة التخمر	44	$^{\circ}\text{C}$
$t_a$ درجة حرارة الجو الخارجية الوسطية	25.6	$^{\circ}\text{C}$
$t_m$ درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية	43.8	$^{\circ}\text{C}$
$t_{in}$ درجة حرارة المادة الداخلة للتخمر	27	$^{\circ}\text{C}$

2- اعتمد المخمر الذي قمنا بإجراء الدراسة عليه مع اعتماد نسبة الأبعاد الموجود فيه وتطبيق نفس النسب على الحجم الأكبر من المخمرات حيث إن نسبة القطر على الارتفاع تساوي  $D/h = 0.61$ .

3- تم تغيير الحجم مع تثبيت العازل ودراسة تأثيره على نسبة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر إلى كمية الحرارة الكلية اللازمة للمخمر.

المتطلبات الحرارية للمنشأة :

### 1- الطاقة الحرارية المنتجة من اللاقط الشمسي المستخدم:

تم حساب الكسب الحراري الشمسي حسابياً من أجل 11 يوماً من التجربة، وكمية الإشعاع اليومي الوسطي المكتسب يومياً يساوي  $6538.6 \text{ W/m}^2.\text{day}$  وهذا ما يعادل  $23538.96 \text{ kJ/m}^2.\text{day}$  أما الكسب الحراري الساعي يساوي إلى  $502.97 \text{ W/m}^2.\text{h}$ .

وبالتالي كمية الحرارة التي يستطيع اللاقط الشمسي تأمينها تؤخذ من العلاقة الآتية [8]:

$$\eta_{(G,(t_m-t_a))} = K \cdot \eta_{(o)} - a_1 \cdot G \cdot (x) - a_2 \cdot G \cdot (x)^2 \quad (1)$$

$$X = (t_m - t_a) / G$$

$$\eta_o = 0.779$$

$$a_1 = 1.07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$a_2 = 0.0135 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$$

$$K = K_{\theta T} \cdot K_{\theta L}$$

$$(2)$$

ومن أجل الزاوية  $45^{\circ}$  نجد أن  $K_{\theta T} = 1.045$  و  $K_{\theta L} = 0.94$  [8]:

$$K = 0.9823$$

$$X = (43.8 - 25.6) / 502.96 = 0.036$$

$$\eta_{(G,(t_m-t_a))} = 0.585$$

$$Q_1 = Q_e \cdot \eta_{(G,(t_m-t_a))} \cdot A_{\text{colec}} \quad (3)$$

$$Q_1 = 0.585 \times 23538.96 \times 0.555 = 8258.942 \text{ kJ/day}$$

$$Q_2 = K_{\text{tank}} \cdot A_{\text{tank}} \cdot (t_m - t_a) \times 3600 \times 11 / 1000$$

$$Q_2 = 859.623 \text{ kJ/day}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 7399.319 \text{ kJ/day}$$

حيث :

K معامل الميلان الزاوي الكلي

$K_{\theta L}$  معامل عن الميلان الطولي

$K_{\theta T}$  معامل الميلان العرضي

$Q_e$  كمية الإشعاع المكتسبة يومياً.

$A_{colec}$  مساحة اللاقط الشمسي.

$Q_2$  الضياعات الحرارية أثناء الليل وانعدام الإشعاع الشمسي (هنا 11 ساعة يومياً).

$Q_3$  طاقة اللاقط الشمسي الصافية.

2- كمية الحرارة اللازمة للمخمر:

إن كمية الحرارة اللازمة للمخمر تعطى بالعلاقة (4):

$$Q_R = Q_c + Q_s \quad (4)$$

$$Q_s = m_R^o \cdot Cp_R \cdot (t_R - t_{in}) / T = \rho_R \cdot V_R \cdot Cp_R \cdot (t_R - t_{in}) / T \quad (5)$$

$$Q_s = 6573.22/3 = 2191.07 \text{ kJ/day}$$

حيث

$Q_c$  الضياعات الحرارية من المخمر للجو الخارجي

$Q_s$  كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة من درجة حرارة الدخول حتى درجة حرارة التخمر خلال ثلاثة

أيام 72 ساعة تعطى

$t_{in}$  درجة حرارة الروبة عند الدخول

$t_R$  درجة حرارة التخمر المطلوبة

$m_R^o$  كتلة الروبة الموجودة داخل المخمر.

$Cp_R$  السعة الحرارية للمادة المخمرة.

$V_R$  حجم الروبة في المخمر.

$T$  الزمن اللازم لرفع درجة حرارة الروبة وقد اعتمدنا الزمن اللازم هو 72 ساعة .

يحتاج المخمر لكمية كبيرة من الطاقة عند الإقلاع من أجل رفع درجة حرارة المخمر إلى درجة حرارة التخمر

في بداية التخمر وهو ثلاثة أيام على الأقل، بعدها يصبح الحمل الحراري المطلوب للمخمر هو لتأمين الفقد الناتج عن

الضياعات عبر جدران المخمر مع الوسط الخارجي لذلك يمكن استخدام لاقط شمسي واحد من أجل عدة مخمرات

حسب حجمها لأن عملية تغذية المخمر لا تتم في نفس الوقت وإن كانت ذلك يمكننا جعلها متباعدة من أجل ذلك.

$$Q_c = K_R \cdot A_R (t_R - t_a) \quad (6)$$

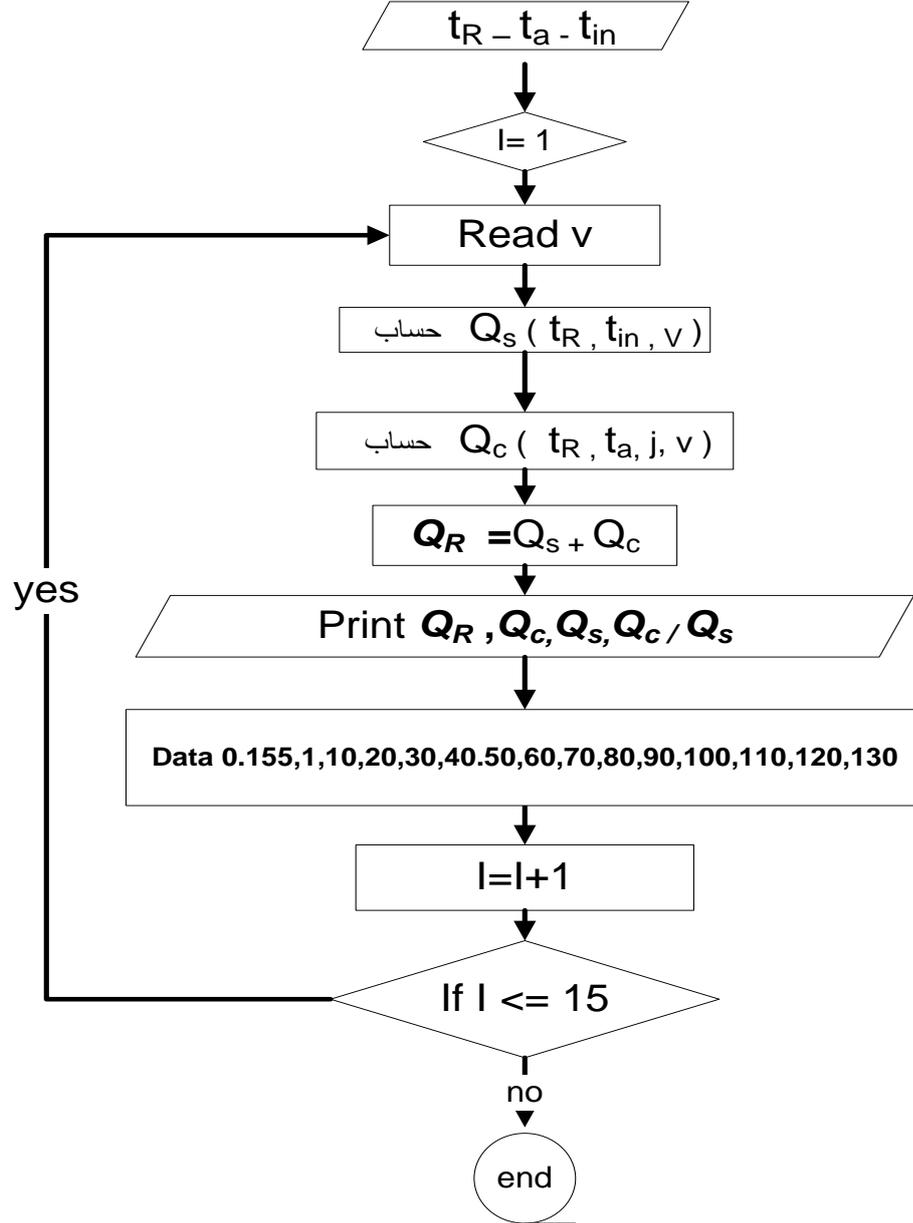
$$Q_c = 3692.69 \text{ kJ/day}$$

$$Q_R = Q_c + Q_s$$

$$Q_R = 5883.76 \text{ kJ/day}$$

$Q_c$  كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي [4]  
 $K_R$  معامل انتقال الحرارة عند سماكة العازل 2.5 سم صوف زجاجي .  
 $Q_R$  كمية الحرارة اللازمة للمخمر  
 الموديل الرياضي :

يبين الشكل (7) الموديل الرياضي المستخدم في الحساب.



الشكل (7) الموديل الرياضي المستخدم

تم تنفيذ الموديل الرياضي من أجل سماكة عازل 2.5 cm وأحجام من 0.15 - 1 - 10 - 20 - 30 حتى  $m^3$

130 وكانت النتائج كما في الجدول (5) :

الجدول(5) كمية الحرارة اللازمة للمخمر عند أحجام مختلفة

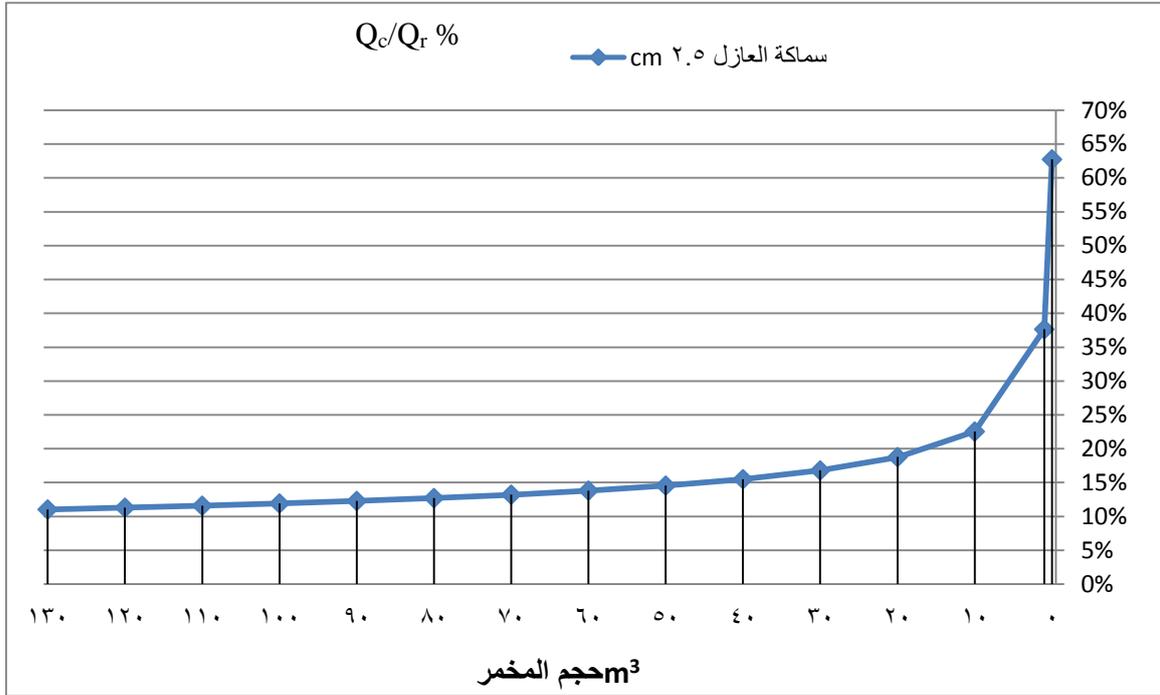
كمية الحرارة اللازمة للمخمر $Q_R$ kJ/day	كمية الحرارة المتسربة عبر الجدران kJ/day	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المخمر لدرجة حرارة التخمر kJ/day	حجم المخمر $m^3$
5883.758267	2191.073	3692.685	0.15
34001.31481	21203.932	12797.383	1
263676.9899	204276.800	59400.190	10
502845.5239	408553.600	94291.924	20
736387.7741	612830.400	123557.374	30
966786.2992	817107.200	149679.099	40
1195071.209	1021384.000	173687.209	50
1421795.906	1225660.800	196135.106	60
1647301.054	1429937.600	217363.454	70
1871815.16	1634214.400	237600.760	80
2095500.895	1838491.200	257009.695	90
2318479.258	2042768.000	275711.258	100
2540843.333	2247044.800	293798.533	110
2762666.673	2451321.600	311345.073	120
2984008.674	2655598.400	328410.274	130

وبالتالي تكون نسبة  $Q_C/Q_R$  كما هي موضحة بالجدول (6) والشكل (8)

الجدول(6) نسبة كمية الحرارة المتسربة عبر جدران المخمر إلى كمية الحرارة الكلية  $Q_C/Q_R$ 

$Q_C/Q_R$ %	عازل 2.5 cm	حجم المخمر $m^3$
62.76%		0.155
37.64%		1
22.53%		10
18.75%		20
16.78%		30
15.48%		40
14.53%		50
13.79%		60
13.20%		70
12.69%		80

12.26%	90
11.89%	100
11.56%	110
11.27%	120
11.01%	130



الشكل (8) نسبة كمية الحرارة المتسربة عبر جدران المخمر إلى كمية الحرارة الكلية  $Q_c/Q_r$

نستنتج من الجدول (6) والشكل (8) والجدول (7) الذي يبين مدى والتوفير والاستفادة من تغيير حجم المخمر عند عزل 2.5 cm صوف زجاجي.

الجدول (7) التوفير الحاصل من تغيير حجم المخمر

مقدار التوفير %	الحجم $m^3$
25.12 %	من 0.155 إلى 1
15.11 %	من 1 إلى 10
3.78 %	من 10 إلى 20
7.75 %	من 20 إلى 130

نلاحظ من المخطط انخفاض نسبة  $Q_c/Q_r$  مع ازدياد حجم المخمر. وعند حجوم مخمرات أكبر من  $20 m^3$  تكون نسبة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر أقل من 18% من الاحتياجات الحرارية اللازمة للمخمر حيث تصبح الضياعات صغيرة جداً وذلك بسبب السعة الحرارية الكبيرة للمادة

المتخمرة كما أن استخدام حجوم مخمرات أقل من 1 متر مكعب هو مكلف من الناحية الحرارية كون نسبة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر كبيرة مقارنة باحتياجاته الحرارية الكلية.  
مقدار التوفير الحاصل مع ازدياد الحجم يتناقص بحيث تصبح الحجوم الأكبر من  $20 \text{ m}^3$  لا تحقق فائدة ملحوظة .

### الاستنتاجات والتوصيات :

- 1 يعتبر استخدام حجوم أقل من  $1 \text{ m}^3$  غير مناسب بسبب ارتفاع الضياعات الحرارية QC مقارنة بالاحتياجات الكلية للمخمر  $Q_R$ .
- 2 يعتبر الحجم المحصور بين  $10 \text{ m}^3$  و  $20 \text{ m}^3$  هو الحجم الأمثل للمخمرات لأن المنحني البياني الشكل (8) يبدأ بانخفاض شديد من القيمة  $0.15 \text{ m}^3$  حتى القيمة  $10 \text{ m}^3$  بعد هذه القيمة يصبح أقل انحداراً وتصبح قيمة التوفير بين القيمة  $10 \text{ m}^2$  و  $20 \text{ m}^2$  تساوي 3.78 الجدول (7).
- 3 لا تحقق زيادة حجم المخمر فوق  $20 \text{ m}^3$  فائدة مهمة. حيث إن نسبة التوفير الكلية من  $20 \text{ m}^3$  إلى  $130 \text{ m}^3$  تساوي 7.75% الجدول (7) وهي نسبة صغيرة نظراً للسعة الكبيرة للمادة المخمرة مقارنة بالضياعات الحرارية عبر جدران المخمر.
- 4 إن بناء مخمرات بحجوم مناسبة يؤمن سعة حرارية كبيرة للمادة المخمرة تجعل الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر شبه مهمة ، مما يؤمن استقرار عملية التخمير نتيجة استقرار درجة حرارة التخمير . وتخفيضاً نسبياً للطاقة الشمسية اللازمة لتعويض الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر ، بحيث تستخدم معظم الطاقة الشمسية المنتجة من أجل رفع درجة حرارة المادة المتخمرة إلى درجة حرارة التخمير .
- 5 يمكن استخدام لاقط شمسي واحد من أجل عدة مخمرات حسب حجمها لأن عملية تغذية المخمرات لا تتم في نفس الوقت والطاقة الأعظمية اللازمة للمخمرات يجب توافرها خلال الأيام الثلاثة الأولى وبعدها يؤمن اللاقط الشمسي كمية الحرارة اللازمة للتعويض عن الضياعات الحرارية من المخمرات إلى الجو المحيط فقط .

### المراجع :

- 1] Dr. Teguh Wikan Widodo and Dr. Agung Hendriadi Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD) Tromol Pos 2 Serpong, Tangerang, Banten 15310 Indonesia ,2005.
- 2] K.J. Chae, Am Jang, S.K. Yim, In S. Kim, The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure, pp .1-6 ,Received 5 July 2004; received in revised form 14 September 2006; accepted 25 November 2006 Available online 16 February 2007.
- 3] Edited by Ackmez Mudhoo, Biogas production pretreatment methods in Anaerobic Digestion. , Lecturer Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Mauritius, Réduit, Mauritius, Co-published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Salem, Massachusetts. Published simultaneously in Canada, pp.346

4- د. صلاح داوود، م أحمد فارس زيتون . تأثير العازل الحراري على كمية الحرارة المطلوبة لمخمر دفعي مغلق مزود بالطاقة الشمسية في الشروط المعتدلة الحرارة مجلة جامعة تشرين اللاذقية – سوريا مقالة جاهزة للنشر ص م ج بتاريخ 10/12/2012 م

5] G.D. Zupancič, M. Ros. Heat and energy requirements in thermophilic anaerobic sludge digestion. National Institute of Chemistry, Department for Chemistry, Biology and Technology of Water, Hajdrihova 19, PO Box 660, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, pp. 2256-2267 ,2003.

6] Hans Dieter Baehr · Karl Stephan. Heat and Mass Transfer . Second, revised Edition ,2006 .pp.705

7] ASHRAE. (America Society of Heating , Refrigeration and Air Conditioning Engineers). ASHRAE Handbook of HVAC Applications ,2008.

8] Report of a Performance Test According to EN 12975-2:2006 for a Glazed Solar Collector . Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hameln/Emmerthal; Am Ohrberg 1; 31860 Emmerthal; Germany, pp. 1-19 ,2007.