

## تأثير العازل الحراري في كمية الحرارة المطلوبة لمخمر دفعي مغلق مزود بالطاقة الشمسية في الشروط المعتدلة الحرارة

الدكتور صلاح داوود\*

أحمد فارس زيتون\*\*

(تاريخ الإيداع 5 / 6 / 2012. قُبل للنشر في 10 / 12 / 2012)

### □ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير عامل انتقال الحرارة في كمية الحرارة ودرجتها داخل المخمر، وفي الضياعات الحرارية في المخمر وفق الشروط المعتدلة الحرارة، حيث تمت دراسة مخمر مكشوف، وقياس درجة الحرارة المحيطة به، وحساب كمية الحرارة المقدمة إلى المخمر من اللاقط الشمسي، وتأثير ذلك في تغير درجة حرارة المخمر؛ وذلك عند سماكات مختلفة من العازل الحراري بغية الوصول إلى عامل انتقال الحرارة الأمثل في هذه الشروط.

الكلمات المفتاحية : مخمر - لاقط شمسي - عازل حراري

\* 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.

## **Thermal Isolator Impact on Request Temperature Quantity of Closed Push Digester Working by Solar Energy in Normal Temperature Conditions .**

**Dr. Salah Dawood\***  
**Ahmad Fares Zayton\*\***

**(Received 5 / 6 / 2012. Accepted 10 / 12 / 2012)**

### **□ ABSTRACT □**

The purpose of this paper is to study the impact of heat transfer on temperature quantity and inner temperature of digester and the heat losses in the digester in accordance with normal temperature conditions, where the closed digester are studied and the surrounding temperature are measured, and the heat quantity given to digester form solar collector is calculated and so is the impact all these points on digester temperature variety different in thickness of thermal isolator in order to achieve the optimal heat transfer factor in these conditions.

**Keywords :** digester ; solar collector ; thermal isolator

---

\*Professor Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Teshreen Univercity; Lattakia, Syria.

\*\*Work Supervisor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Teshreen Univercity; Lattakia, Syria.

**مقدمة :**

يشهد العالم منذ عقود نهضة حقيقية في مجال استخدام الطاقات المتجددة، خاصة في ظل الدراسات التي تؤكد انخفاض المخزون الاحتياطي العالمي من النفط والغاز الخام. ويتوقع في ظل ازدياد الطلب على الطاقة الكهربائية نضوب النفط الخام خلال عقود قليلة من الزمن. ويأتي دور الطاقة البديلة بوصفه حلاً 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. ويجب علينا في القطر العربي السوري أن نستثمر هذه الطاقة، ونكثف الدراسات العلمية في هذا المجال، ونسهم في توسيع انتشار هذه التقنية؛ وذلك لتغطية جزء من حاجة القطر من الطاقة الكهربائية، ولإنتاج سماد عضوي يؤدي استخدامه إلى رفع الإنتاجية الزراعية. ويسهم استخدام هذه التقنية في تحسين المستوى الصحي والاجتماعي والبيئي للعاملين في هذا القطاع أو لأماكن الاستثمار.

يتم إنتاج الغاز الحيوي باستخدام مخمرات لا هوائية محكمة ومعزولة حرارياً تعمل بظروف محددة، ومجهزة بخلاطات لتحريك محتويات المخمر؛ وذلك بهدف تسريع عملية التخمر [1]. تتحلل المواد العضوية المتوضعة داخل المخمرات بواسطة بكتريا خاصة عند شروط حرارية ثابتة، ويغيب كامل للأوكسجين [1]. أما تركيب الغاز الحيوي فيعتمد على نوعية المواد الخام، علماً أن الميثان، وثاني أكسيد الكربون، والهيدروجين، والنترجين، وبخار الماء، وبعض كبريت الهيدروجين تعد أهم مكونات هذا الغاز. يؤثر في عملية إنتاج الغاز عدة عوامل أهمها درجة حرارة الخليط، ودرجة حموضته، إضافة إلى نسبة الكربون إلى النترجين وزمن البقاء في المخمر، وكذلك معدلات التحميل. وقد أظهرت الدراسات [2-3] فعالية التخمر ضمن المخمرات اللاهوائية في شروط درجات حرارة فعالة؛ لذلك كان لا بد من دراسة التحكم بدرجة حرارة الخليط داخل المخمر، والعزل الحراري للمخمر، بهدف تحقيق أفضل السبل لإنتاج الغاز، والسماد المخمر خلال أقصر فترة زمنية ممكنة وبأفضل المواصفات؛ لذا كان من الضروري في هذه الحالة دراسة العلاقة بين كمية الحرارة المتسربة عبر جدران المخمر، وسماكة العازل الحراري، وعامل انتقال الحرارة الكلي؛ بغية الحصول على أفضل شروط عمل لهذا المخمر؛ وذلك بالاستفادة من مجمع شمسي يقوم بتأمين درجة الحرارة المناسبة لعمل المخمر في الساحل السوري.

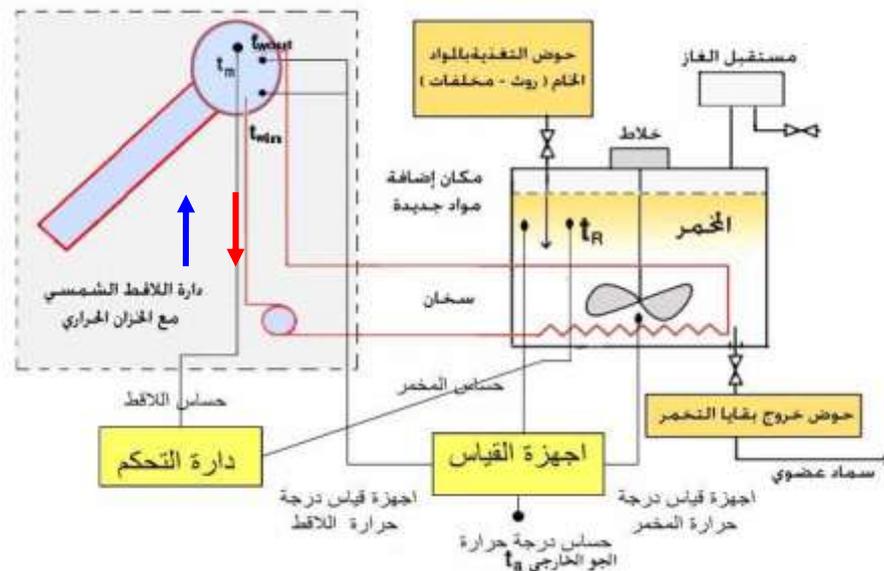
**أهمية البحث وأهدافه :**

تكمن أهمية البحث في دراسة تأثير درجة الحرارة في عملية التخمر، وإنتاج الغاز الحيوي النظيف، وزيادة معدل إنتاجه، وإنتاج مادة عضوية مختمرة عالية الجودة، إضافة إلى تقليل الفترة الزمنية اللازمة للحصول على المنتج (غاز حيوي، سماد عضوي) من خلال دارة مدمجة مع مبادل حراري ذي مصدر حراري خارجي مجاني، يتمثل في المجمع الشمسي والخزان الحراري. وقد تم دراسة الضياعات الحرارية عبر جدران المخمر من خلال عامل الانتقال الحراري الكلي للمخمر.

**طرائق البحث ومواده :**

تتكون الدارة المدروسة من مخمر، وهو عبارة عن خزان محكم الإغلاق مصنوع من الحديد المزيق سماكة 2mm، ومجهز 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 . يبلغ قطر المخمر 0.49m بارتفاع 0.8m. غطاؤه العلوي قابل للفك مثبت مع القسم السفلي بواسطة 20 برغياً، ويركب جوان بين القسمين مصنوع من مادة الكرتون المقوى، ويثبت على الغطاء العلوي خلاط من أجل خلط المواد المختمرة لتنشيط التفاعل، وهو مزود بفتحة لخروج الماء الساخن الذاهب إلى المخمر، وفتحة لدخول الماء العائد من المخمر، وتوجد في أعلى الخزان فتحتان واحدة مركب فيها أنبوب التنفيس، والأخرى مربوطة مع خزان التعويض. وتبلغ مساحة اللاقط  $0.555m^2$ ، ويبلغ قطر الخزان الحراري 40cm بطول 98cm، وهو معزول بعازل من القوم سماكة 5cm من جميع الجهات. وقد تم تركيب مقياسين لدرجة الحرارة في المخمر أحدهما في أعلى المخمر والآخر في أسفله، كذلك تم تركيب مقياسين في اللاقط الشمسي، أحدهما في أعلى الخزان الحراري وآخر في أسفله، إضافة إلى حساس خارجي لقياس درجة حرارة الجو الخارجي كما هو مبين في الشكل (1). أما دارة التسجيل فهي عبارة عن DVR مزود بقرص صلب وكاميرا لتصوير الحساسات.



الشكل (1) مخطط الدارة المنفذة للمخمّر مع اللاقط الشمسي

### القسم التجريبي :

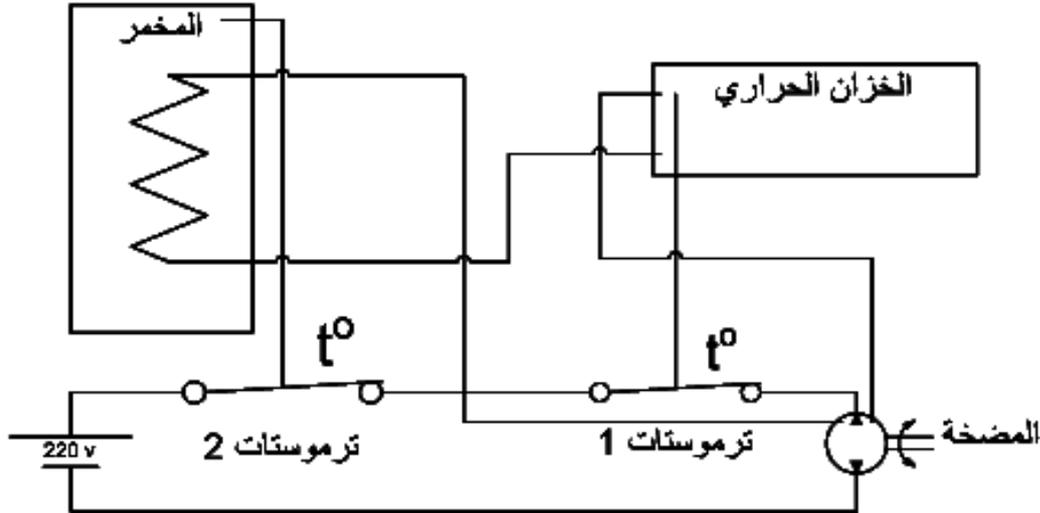
يعتمد القسم التجريبي على قياس درجة حرارة الجو، والمخمّر، واللاقط الشمسي مع تغيير قيمة معامل الانتقال الحراري في المخمر عن طريق تغيير العازل، وهو هنا الصوف الزجاجي. وقد تم إجراء التجربة ضمن الشروط والفرضيات الآتية:

- 1- نفذت التجربة في المنطقة الساحلية في محافظة اللاذقية.
- 2- تمت تعبئة المخمر حتى ارتفاع 50cm بالمواد المخمرة، وهي روث البقر المخلوطة مع الماء بنسبة 1/1.
- 3- تم تغيير درجة حرارة المخمر عن طريق دارة التحكم المبينة في الشكل (2) على الدرجة  $41^{\circ}C$ .
- 4- تم أخذ القراءات المسجلة في جهاز DVR.

5- زاوية ميلان اللاقط الشمسي هي  $45^\circ$ ؛ لأن هذه الزاوية مناسبة لفصل الشتاء، وهو الفصل الذي نحتاج فيه إلى الطاقة بشكل أكبر.

6- درجة حرارة المخمر هي درجة حرارة الوسط الحسابي ما بين درجة حرارة أعلى المخمر وأسفله.

7- تم الاعتماد على قيم الإشعاع الشمسي حسابياً بالاعتماد على الأشري الأمريكي (Ashree).



الشكل (2) دائرة التحكم بدرجة حرارة المخمر

وبين الجدول (1) المواصفات والشروط الخاصة بتجهيزات التجربة:

الجدول (1) المواصفات والشروط الخاصة بتجهيزات التجربة

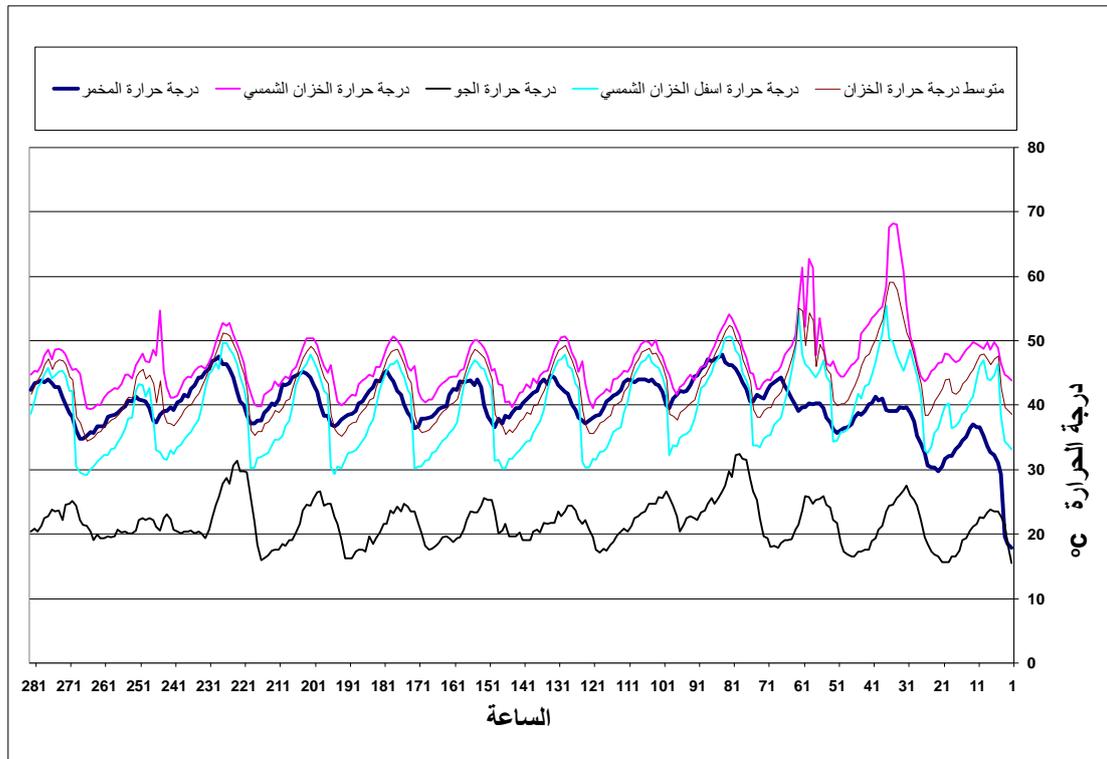
الوحدة	القيمة	الشروط والمواصفات
cm	49	D قطر المخمر
cm	80	H ارتفاع المخمر
cm	50	ارتفاع المادة
mm	2	سماعة الحديد
cm	2.5	سماعة الصوف الزجاجي
liter	94.23925	VR حجم المادة المخمرة
liter	150.7828	VD حجم المخمر الكلي
m <sup>2</sup>	1.61	AR <sub>0</sub> سطح التبادل في المخمر مع الجو
W/(m <sup>2</sup> .k)	23.3	معامل انتقال الحرارة بالحمل من سطح المخمر للجو الخارجي [4]
W/(m <sup>2</sup> *k)	245	معامل انتقال الحرارة بالحمل من الزوية إلى السطح الداخلي للمخمر [4]
W/(m*k)	81	معامل التوصيل للحديد [5]
W/(m*k)	0.04	معامل التوصيل للصوف الزجاجي [5]
W/(m*k)	399	معامل التوصيل للنحاس [5]
W/(m*k)	1.488	KR معامل انتقال الحرارة الكلي للمخمر
oC	17.8	درجة حرارة المادة الداخلة للتخمير
m <sup>2</sup>	0.555	Acolec مساحة اللاقط المستخدم
liter	60	VTank حجم الخزان الحراري

cm	6	سماكة العازل بوليسترين
W/(m*k)	0.03	معامل التوصيل للبوليسترين [5]
DTank× LTank m	0.4×0.98	أبعاد الخزان الحراري
mm	0.1	سماكة الصاج الداخلي
mm	0.1	سماكة الصاج الخارجي
W/(m2*k)	23.3	معامل انتقال الحرارة سطح الخزان للجو الخارجي [4]
W/(m2*k)	245	معامل انتقال الحرارة بالحمل من الماء إلى السطح الداخلي للخزان [4]
W/(m2*k)	0.584	KTank معامل انتقال الحرارة الكلي للخزان الحراري
m2	1.48	ATank <sub>o</sub> سطح التبادل للخزان الحراري مع الجو
kJ/kg*K	4.186	Cp <sub>R</sub> السعة الحرارية الكتلية للمادة المخمرة [5]
Kg/m3	1038	ρ <sub>R</sub> الكثافة النوعية للروية

### النتائج والمناقشة :

#### توزيع درجة حرارة الجو والمخممر والخزان الحراري :

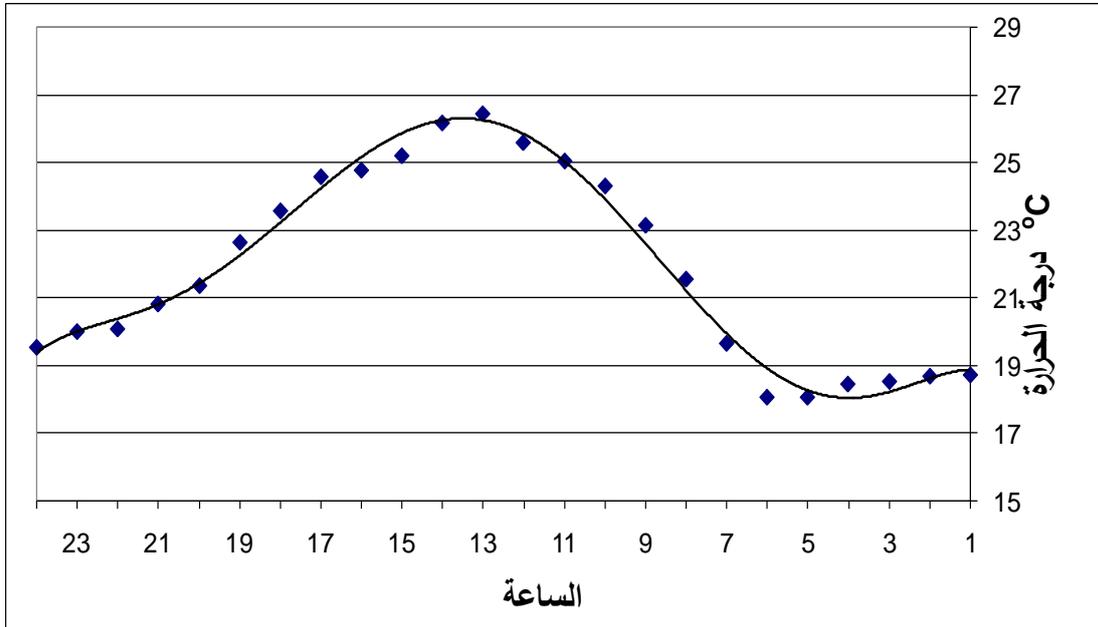
تم إجراء التجربة في تاريخ 2011-5-13 الساعة السابعة صباحاً وانتهت في تاريخ 2011-5-24 - 2011-5-24 الشكل (3) الهدف من التجربة الحصول على درجة حرارة المخمر، والوسط الخارجي، ودرجة حرارة الخزان الحرارية الوسطية خلال الفترة التي تم إجراء التجربة فيها، وإدخالها إلى الموديل الرياضي بوصفها ثوابت في أثناء الحساب.



الشكل (3) تغير درجة الحرارة في المخمر والخزان الحراري والوسط الخارجي في أثناء فترة التجربة

### متوسط درجة حرارة الجو :

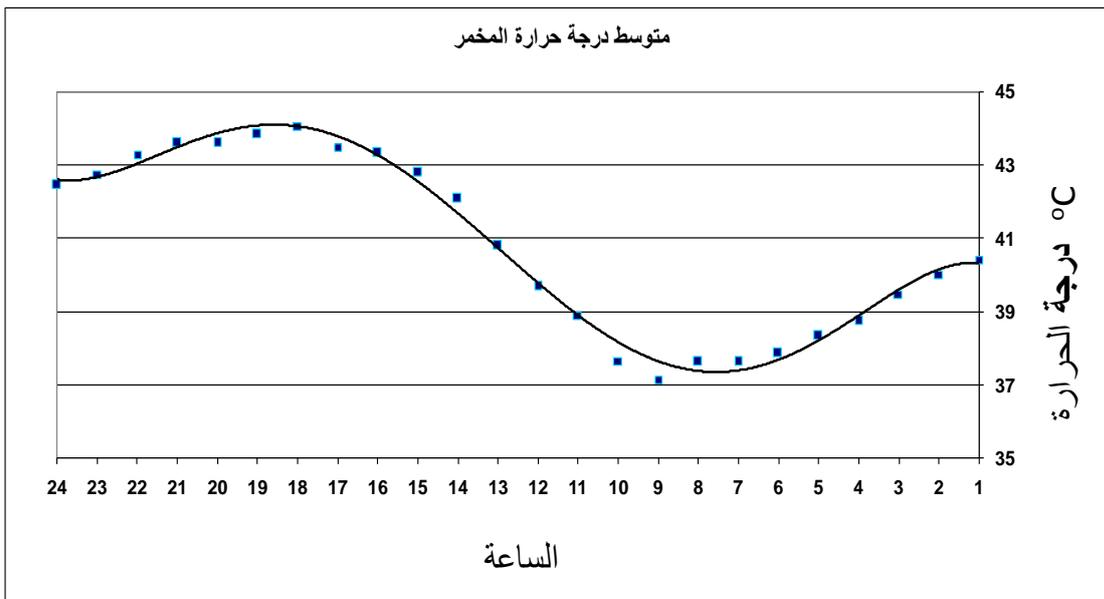
يبين الشكل (4) قيم درجات حرارة الجو الوسطية خلال فترة التجربة.



الشكل (4) القيم الوسطية لدرجة حرارة الجو خلال فترة التجربة

### درجة حرارة المخمر: الساعة

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



الشكل (5) درجة حرارة المخمر الوسطية

## درجة حرارة الخزان الحراري :

يبين الشكل (6) قيم درجات حرارة الخزان الحراري الوسطية خلال فترة التجربة.



الشكل (6) درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية

ومنّه 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 من التجربة

متوسط درجة حرارة الجو $t_a$	متوسط درجة حرارة التخمر $t_p$	متوسط درجة حرارة الخزان الحراري $t_m$
22.76	40.82	43.87

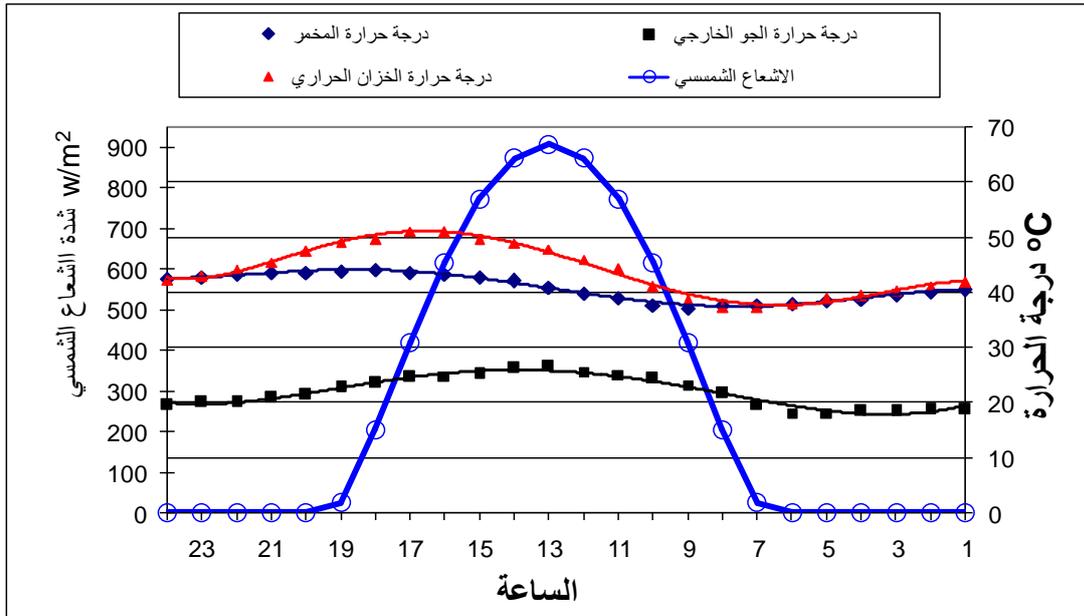
## الكسب الحراري الشمسي خلال فترة التجربة :

الكسب الحراري الشمسي خلال فترة التجربة من تاريخ 2010/5/14 حتى تاريخ 2010/5/24 موضحة في الجدول (3) ، ويبين الشكل (7) مخطط تغير الكسب الحراري الشمسي [6] مع تغير كل من درجة حرارة المخمر، والخزان الحراري، والجو الخارجي خلال 24 ساعة.

الجدول (3) الكسب الحراري الشمسي

التوقيت	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18	5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	المتوسط
6	22.8	22.9	22.9	23.0	23.0	23.0	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.0
7	203.9	203.8	203.7	203.6	203.5	203.4	203.3	203.2	203.0	202.9	202.8	203.4
8	421.7	421.1	420.6	420.0	419.5	418.9	418.4	417.8	417.3	416.8	416.3	418.9
9	622.1	621.1	620.1	619.2	618.2	617.3	616.4	615.5	614.6	613.7	612.8	617.4
10	780.1	778.8	777.5	776.3	775.0	773.8	772.6	771.4	770.3	769.1	768.0	773.9
11	880.6	879.2	877.7	876.3	874.8	873.4	872.1	870.7	869.4	868.1	866.8	873.6
12	915.1	913.6	912.1	910.5	909.1	907.6	906.2	904.8	903.4	902.0	900.7	907.7

873.6	866.8	868.1	869.4	870.7	872.1	873.4	874.8	876.3	877.7	879.2	880.6	13
773.9	768.0	769.1	770.3	771.4	772.6	773.8	775.0	776.3	777.5	778.8	780.1	14
617.4	612.8	613.7	614.6	615.5	616.4	617.3	618.2	619.2	620.1	621.1	622.1	15
418.9	416.3	416.8	417.3	417.8	418.4	418.9	419.5	420.0	420.6	421.1	421.7	16
203.4	202.8	202.9	203.0	203.2	203.3	203.4	203.5	203.6	203.7	203.8	203.9	17
23.0	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.0	23.0	23.0	22.9	22.9	22.8	18
6728	6680.2	6689.3	6698.6	6708.1	6717.7	6727.5	6737.3	6747.2	6757.2	6767.3	6777.4	المجموع



الشكل (7) 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 في الجدول (1)، والقيم الناتجة من التجربة الموضحة في الجدول (2)، ودرجة حرارة الروبة الداخلة للمخمر هي درجة حرارة الروبة المقيسة عند تعبئة المخمر كما هو موضح في الجدول (3).

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

الواحدة	القيمة	الشروط والمواصفات
°C	40.82	درجة حرارة التخمير $t_R$
°C	22.76	درجة حرارة الجو الخارجية الوسطية $t_a$
°C	43.87	درجة حرارة الخزان الحراري الوسطية $t_m$
°C	17.8	درجة حرارة المادة الداخلة للتخمير $t_{in}$

2- تم تغيير سماكة العزل ( الصوف الزجاجي) حسابياً، واعتماد السماكات الآتية ( 2.5-5-7.5-10-12.5-15-17.5) علماً أن المخمر قد عزل بالصوف الزجاجي بسماكة 2.5 cm؛ أما السماكات الأكبر للعزل فهي حسابية.

### 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 6728 W/m<sup>2</sup>.day ، وهذا ما يعادل 24220.8 kj/m<sup>2</sup>.day. أما الكسب الحراري الساعي فيساوي إلى 517.56 W/m<sup>2</sup>.h

ولهذا تؤخذ كمية الحرارة التي يستطيع اللاقط الشمسي تأمينها من العلاقة (1) [7]:

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

حيث إن :

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

وتكون قيم  $\eta_o$  ،  $a_1$  ،  $a_2$  ؛ وذلك من أجل لاقط شمسي ذي أنابيب مفرغة [8]:

$$\eta_o = 0.779$$

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

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

ومعامل الميلان الزاوي الكلي K ناتج من الميلان الطولي  $K_{\theta L}$  ، والميلان العرضي  $K_{\theta T}$  ، ويحسب بالعلاقة (2) :

$$K = K_{\theta T} \cdot K_{\theta L} \quad (2)$$

وتعطى قيم المعاملات وفق الجدول (4) [7]:

الجدول (4) يبين قيم معاملات الميل العرضية والطولية بوصفها تابعاً لزوايا الميل

الزاوية	°0	°10	°20	°30	°40	°50	°60
$K_{\theta L}$	1	1	0,99	0,98	0,96	0,92	0,86
$K_{\theta T}$	1	1,01	1,04	1,07	1,07	1,02	0,9

ومن أجل الزاوية 45° نجد أن

$$K_{\theta L} = 0.94 \text{ و } K_{\theta T} = 1.045 \text{ ، وبهذا:}$$

$$K = 0.9823$$

$$X = (43.87 - 22.76) / 517.56 = 0.042451$$

ومنه مردود اللاقط المستخدم:

$$\eta_{(G,(t_m-t_a))} = 0.721$$

ومنه طاقة اللاقط الشمسي :

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

حيث :

$Q_e$  كمية الإشعاع المكتسبة يومياً.

$A_{colec}$  مساحة اللاقط الشمسي.

$$Q_1 = 0.721 \times 24220.8 \times 0.555 = 9691.896 \text{ kJ/day}$$

الضباغات الحرارية في أثناء الليل، وانعدام الإشعاع الشمسي (هنا 11 ساعة يومياً).

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

$$Q_2 = 591.52 \text{ kJ/day}$$

وبذلك طاقة اللاقط الشمسي الصافية:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 9100.372 \text{ kJ/day}$$

## 2- كمية الحرارة اللازمة للمخمر:

تعطى كمية الحرارة اللازمة للمخمر بالعلاقة (4):

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

حيث

$Q_c$  الضباغات الحرارية من المخمر للجو الخارجي

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

إن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة من درجة حرارة الدخول  $t_{in}$  حتى الدرجة  $t_R$  درجة حرارة التخمر

المطلوبة خلال ثلاثة أيام 72 ساعة تعطى بالعلاقة (5) [4] :

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

$m_R^o$  كتلة الروبة الموجودة داخل المخمر.

$Cp_R$  السعة الحرارية للمادة المخمرة .

$V_R$  حجم الروبة في المخمر.

$T$  الزمن اللازم لرفع درجة حرارة الروبة. والزمن اللازم الذي اعتمده هو 72 ساعة .

$$Q_s = 9457.22/3 = 3152.41 \text{ kJ/day}$$

هذا بالنسبة إلى مخمر دفعي، حيث إننا بحاجة إلى رفع درجة حرارة المخمر إلى درجة حرارة التخمر في بداية

التخمير، وهو ثلاثة أيام على الأقل، بعدها يصبح الحمل الحراري المطلوب للمخمر هو لتأمين الفقد الناتج من

الضباغات عبر جدران المخمر مع الوسط الخارجي.

تعطى كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي بالعلاقة (6) [4] :

معامل انتقال الحرارة  $K_R$  عند سماكة العازل 2.5 سم صوف زجاجي :

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

وبالحساب ينتج

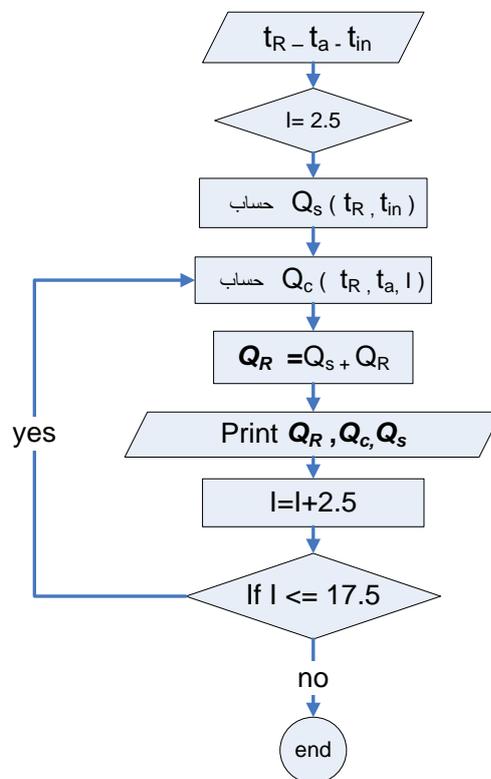
$$kJ/day Q_c = 3822.76$$

وبهذا تكون كمية الحرارة اللازمة للمخمّر

$$Q_R = 6975.17 \text{ kJ/day}$$

### الموديل الرياضي :

يبين الشكل (8) الموديل الرياضي المستخدم في الحساب.



الشكل (8) الموديل الرياضي

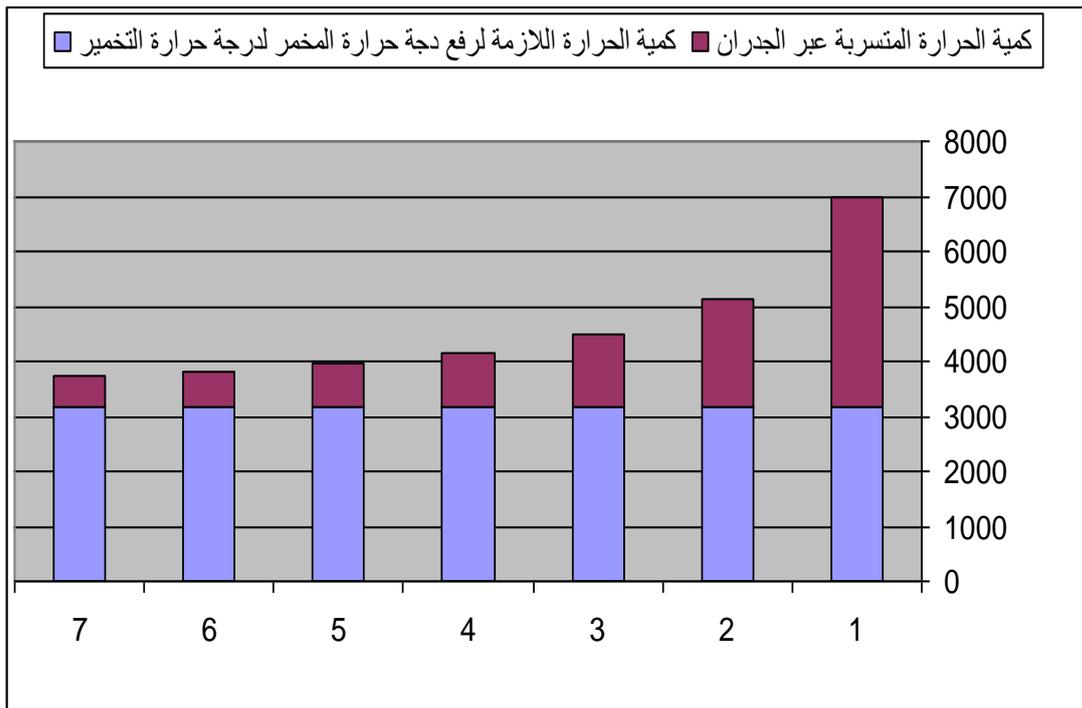
### النتائج والمناقشة :

بتطبيق الموديل الرياضي من أجل سماكة عازل 17.5-15-12.5-10-7.5-5-2.5 cm ينتج لدينا الجدول (5) :

الجدول (5) العلاقة بين كمية الحرارة اللازمة للمخمر مع سماكة العزل

كمية الحرارة اللازمة للمخمر $Q_R$ kJ/day	كمية الحرارة المتسربة عبر الجدران $Q_c$ kJ/day	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المخمر لدرجة حرارة التخمر $Q_s$ kJ/day	سماكة العازل cm
6975.17	3822.76	3152.41	2.5
5133.52	1981.12	3152.41	5
4489.41	1337.00	3152.41	7.5
4161.37	1008.96	3152.41	10
3962.59	810.18	3152.41	12.5
3829.24	676.84	3152.41	15
3733.59	581.18	3152.41	17.5

ويبين الشكل (9) أن زيادة العزل لا يؤثر في كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المخمر إلى درجة التخمر؛ لكنه يؤثر بشكل واضح في كمية الحرارة المتسربة عبر جدران المخمر.



الشكل (9) يبين كمية الحرارة المتسربة عن طريق جدران المخمر وكمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الروبة لدرجة حرارة التخمر

إذا اعتبرنا أن الحرارة المنتقلة عبر جدران المخمر عند السماكة 2.5 cm هي 100%، فستكون بالنتيجة كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدران عند سماكات مختلفة مبينة في الجدول (6):

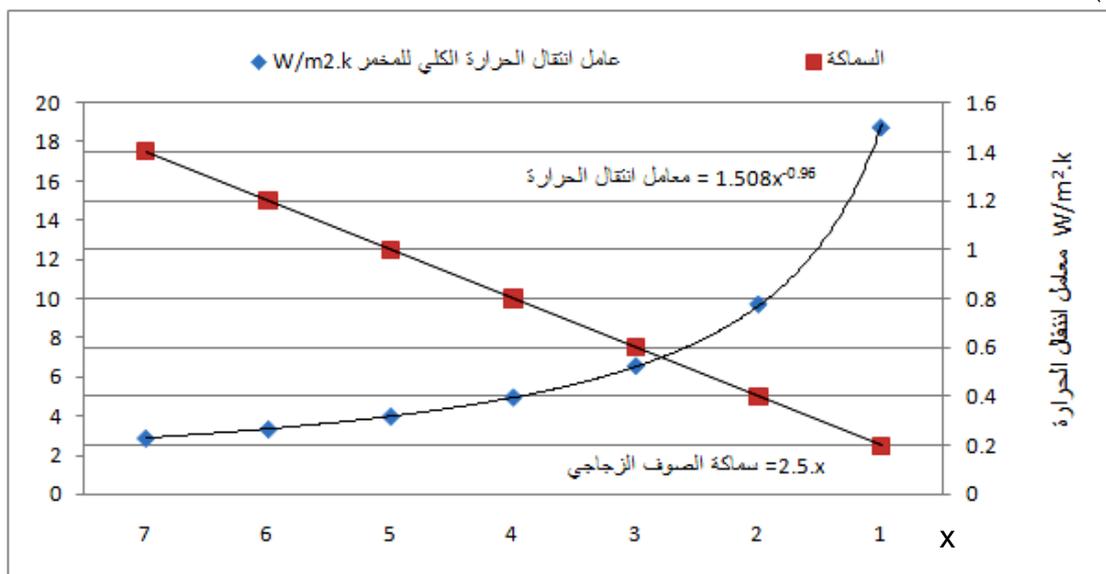
الجدول (6) علاقة  $Q_c$  kJ/day مع سماكة العازل وعامل انتقال الحرارة الكلي

حجم المخمر $m^3$	QC عازل 2.5 cm	QC عازل 5 cm	QC عازل 7.5 cm	QC عازل 10 cm	QC عازل 12.5 cm	QC عازل 15 cm	QC عازل 17.5 cm
0.155	3822.76	1981.12	1337.00	1008.96	810.18	676.84	581.18
النسبة المئوية	100%	52%	35%	26%	21%	18%	15%
مقدار الانخفاض عن الحالة التي قبلها		48%	17%	9%	5%	3%	3%
عامل انتقال الحرارة الكلي للمخمر $W/m^2 \cdot k$	1.497	0.776	0.524	0.395	0.317	0.265	0.228

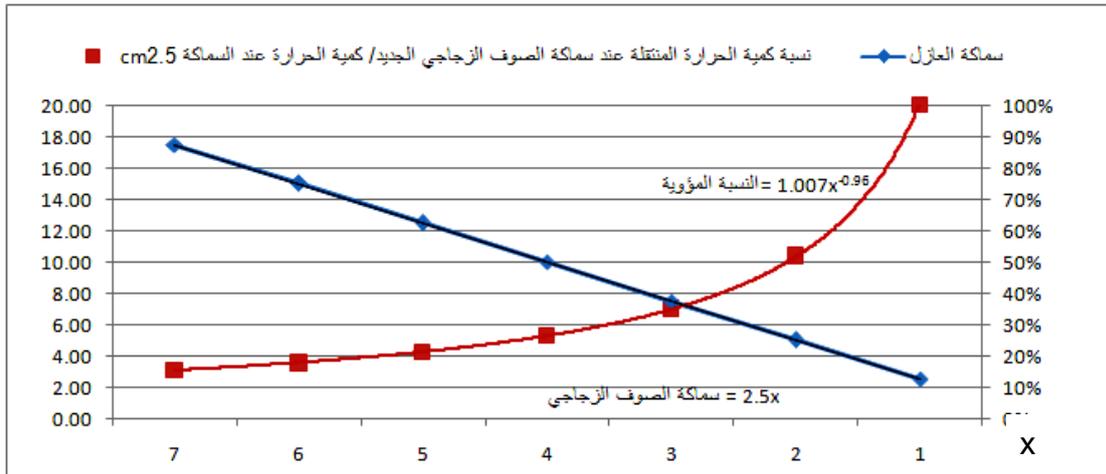
يلاحظ عند رفع السماكة من 2.5 حتى 5 أن قيمة الحرارة المنتقلة عبر الجدران هي 52%؛ أي بانخفاض مقداره 48%، وعند 7.5 هي 35% بمقدار انخفاض 17% عن حالة السماكة 5، وعند السماكة 10 تكون القيمة 26% بانخفاض مقداره 9% عن حالة 7.5، وهكذا يكون الانخفاض هو 5% ثم 3%، ثم 3% على التوالي.

يلاحظ أن العلاقة بين سماكة العازل وعامل انتقال الحرارة الكلي هي علاقة أسية. وباستخدام برنامج excel يمكن إيجاد المخطط البياني مع معادلة كل من السماكة، ومعامل انتقال الحرارة بدلالة السماكة، ومعادلة نسبة الحرارة المنتقلة عبر الجدران على نسبة الحرارة المنتقلة عند سماكة عازل 2.5 cm كما هو مبين في الشكل (10)، والشكل

(11)



الشكل (10) المخططات البيانية مع المعادلات لكل من السماكة ومعامل انتقال الحرارة بدلالة السماكة



الشكل (11) المخططات البيانية مع المعادلات لكل من سماكة العزل والنسبة المئوية للحرارة المنتقلة عبر الجدران

### الاستنتاجات والتوصيات :

1. أفضل فائدة من زيادة العزل بالصوف الزجاجي تكون عند السماكة 10 cm ، حيث يكون مقدار التخفيض 74%؛ أي أن الطاقة اللازمة هي 26% ؛ أي ما يعادل تقريباً ربع الطاقة اللازمة للمخمر عند سماكة 2.5 cm صوف زجاجي للتعويض عن الحرارة المتسربة عبر جدرانه.
2. إن زيادة سماكة العازل أكثر من 10 cm لا يؤدي إلى تخفيض كبير في عامل انتقال الحرارة الكلي؛ وبهذا فإن زيادة العازل يعد هدراً لا مسوغ له.
3. أفضل سماكة تكون محصورة ما بين 7.5-10 cm ؛ أي ما يوافق عامل انتقال حرارة  $0.524 \text{ W/m}^2.k$  و  $0.395$ ؛ لذا ينصح باستخدام عزل يملك عامل انتقال حراري كلي محصور بين القيمتين السابقتين لما له من تأثير فعال في تخفيض قيمة الطاقة الشمسية اللازمة للمخمر.

### المراجع العلمية

- [1] Hong, J., Anaerobic Biotreatment of Animal Manure. Department of Industrial Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon, 97-102 Korea, 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] James Kuria, and Maina Maringa, \Developing simple procedures for selecting, sizing, scheduling of materials and costing of small biogas units,\” International Journal for Service Learning in Engineering, Vol. 3, No. 1, 9 – 40, Spring 2008

- [4] 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, 2256-2267, 2003.
- [5] Hans Dieter Baehr · Karl Stephan. Heat and Mass Transfer . Second, revised Edition ,2006.705
- [6] ASHRAE. (America Society of Heating , Refrigeration and Air Conditioning Engineers). ASHRAE Handbook of HVAC Applications ,2008.
- [7] 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, 1-19 ,2007.