

## تقييم أداء دارة التسخين الشمسي لمياه المسابح المغلقة

### Performance Evaluation of Indoor Swimming Pools Solar Heating Circle

#### ملخص:

تم في هذا البحث دراسة المكونات الرئيسية لدارة تسخين مياه المسابح المغلقة بالطاقة الشمسية المتوفرة بشكل جيد في بلادنا ومن ثم إجراء التجارب الممكنة على نموذج تجريبي لحوض سباحة والتحقق من نتائج التجارب بالنموذج باستخدام برنامج TRNSYS ، وهذا يتيح المجال بعد ذلك لعميم النتائج على أحواض السباحة الكبيرة باستخدام نتائج المحاكاة. وجد أن العامل الرئيسي لتغير درجة حرارة الماء في الحوض هو شدة الإشعاع الشمسي وفي الدرجة الثانية يأتي تغير درجة حرارة الوسط المحيط. ومن النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث أنه يمكن بالطاقة الشمسية توفير 78% من الطاقة اللازمة لتسخين مياه حوض السباحة منوياً.

**الكلمات المفتاحية:** اللاقط الشمسي، الربح الشمسي الذاتي، الربح الشمسي غير المباشر، برنامج النموذج، حوض السباحة.

## **تقييم أداء دارة التسخين الشمسي لمياه المسابح المغلقة**

### **Performance Evaluation of Indoor Swimming Pools Solar Heating Circle**

#### **1- مقدمة:**

تستخدم أنظمة التسخين الشمسي لتنقية جزء من الطاقة الحرارية لتسخين مياه المسابح وبالتالي فهي تقوم بتمديد فترة استخدام حوض السباحة (أي أنه يمكن استخدام حوض السباحة على مدار العام بدلاً من استخدامه في فصل الصيف فقط وكذلك يمكن استخدام المسابح لعدة ساعات بعد غروب الشمس) و تخفض من تكاليف الطاقة اللازمة لتسخين المياه، إن المبدأ الأساسي لهذه الأنظمة هو نفس مبدأ أنظمة تأمين المياه الساخنة المنزلية مع بعض الاختلاف: أولاً: أن الحوض يقوم بعمل المنبع الحراري أو الخزان الحراري، ثانياً: اللاقط الشمسي المستخدم من النوع الرخيص لأنه لا يوجد حاجة لدرجات حرارة عالية لتسخين مياه المسبح فهو يتألف من سطح امتصاص فقط. يتم في نظام تسخين مياه حوض السباحة الشمسي ضخ ماء الحوض مباشرة إلى المجمعات الشمسية من خلال أنظمة فلترة.

#### **2- أهمية البحث:**

يهدف البحث إلى تقييم أداء دارة التسخين الشمسية المستخدمة في تسخين مياه المسابح المغلقة تجريبياً والتحقق من النتائج التجريبية بالنمذجة بغية الوصول إلى الدارة الأفضل لأنه باستخدام مثل هذه الدارات في تسخين مياه المسابح المغلقة تسخن المياه في هذه الأحواض دون اللجوء إلى استخدام الطاقة الكهربائية مما يؤدي إلى ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وأيضاً دون استخدام المسخنات التقليدية التي تتطلب حرق الوقود الأحفوري والذي يؤدي إلى طرح غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يسبب تلوث الجو.

### 3- الحمل الحراري لأحواض السباحة :

تستخدم أنظمة التسخين الشمسي للتغطية جزء من الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين مياه المسابح وبالتالي يمكن استخدام حوض السباحة على مدار العام بدلاً من استخدامه في فصل الصيف فقط. يتبع الحمل الحراري للتغيرات الجوية كالإشعاع الشمسي وسرعة الرياح ودرجة حرارة الوسط، يحسب الحمل الحراري بالعلاقة (1) :

$$\frac{Q_{load}}{q_{load}} = C_p \cdot \rho \cdot V_L \cdot (T_w - T_c) \quad (1)$$

حيث:

$V_L$  : حجم المسبح،

$T_w$  : درجة حرارة الماء المطلوبة،

$C_p$  : السعة الحرارية للماء [kJ/kg.K°] ، 4.18

$\rho$  : كثافة الماء [kg/m³] ، 1000

$T_c$  : درجة حرارة الماء البارد [1] .

### 4- كمية الطاقة الساقطة على اللاقط الشمسي:

$$Q_{out} = (F_R \cdot \pi \alpha) \left[ G + \left( \frac{\varepsilon}{\alpha} \right) L \right] - (F_R U_L) \Delta T \quad (2)$$

$$L = L_{SKY} - \sigma (T_a + 273)^4 \quad (3)$$

$$L_{SKY} = \sigma (T_{SKY} + 273.2)^4 \quad (4)$$

حيث:

$G$  : شدة الإشعاع الشمسي على اللاقط [W/m²]

$\alpha$  : معامل التقويم للزجاج.

$\alpha$  : معامل امتصاص الزجاج للأشعة الشمسية ذات الموجة القصيرة،

$F_R$  : معامل انتقال الحرارة للاقط

$U_L$  : الضياعات الحرارية من اللاقط [W]

$T_a$  : درجة حرارة الوسط المحيط،

$\varepsilon$  : معامل إشعاع السطح الماخص للموجات الطويلة،

$\sigma$  : ثابت ستيفان بولتزمان [ $W / m^2 \cdot K^4$ ] ،  $5.669 \times 10^{-8}$

L : مرتبط بإشعاع الموجات الطويلة،

$T_{sky}$  : درجة حرارة السماء [°C]

$\Delta T$ : الفرق بين درجة حرارة السائل الداخل إلى اللافط والسائل الخارج منه [°C].

( $F_R U_L, F_R$ ) لـ اللوافط غير المغطاة بغضاء شفاف تكون تابعة لسرعة الرياح  $V$  وهذه السرعة تشكل

حوالى 20% من الهواء المتدفق فوق هذا النوع من اللوافط [1] ويتم تصميم النسبة  $\frac{e}{\alpha} = 0.96$

تعطى قيم كل من ( $F_R U_L, F_R$ ) من الحسابات التجريبية التي تم إجراؤها على اللوافط [3]

العلاقات التالية:

$$F_R(\tau\alpha) = 0.85 - 0.04V \quad (5)$$

$$F_R U_L = 11.56 + 4.37V \quad (6)$$

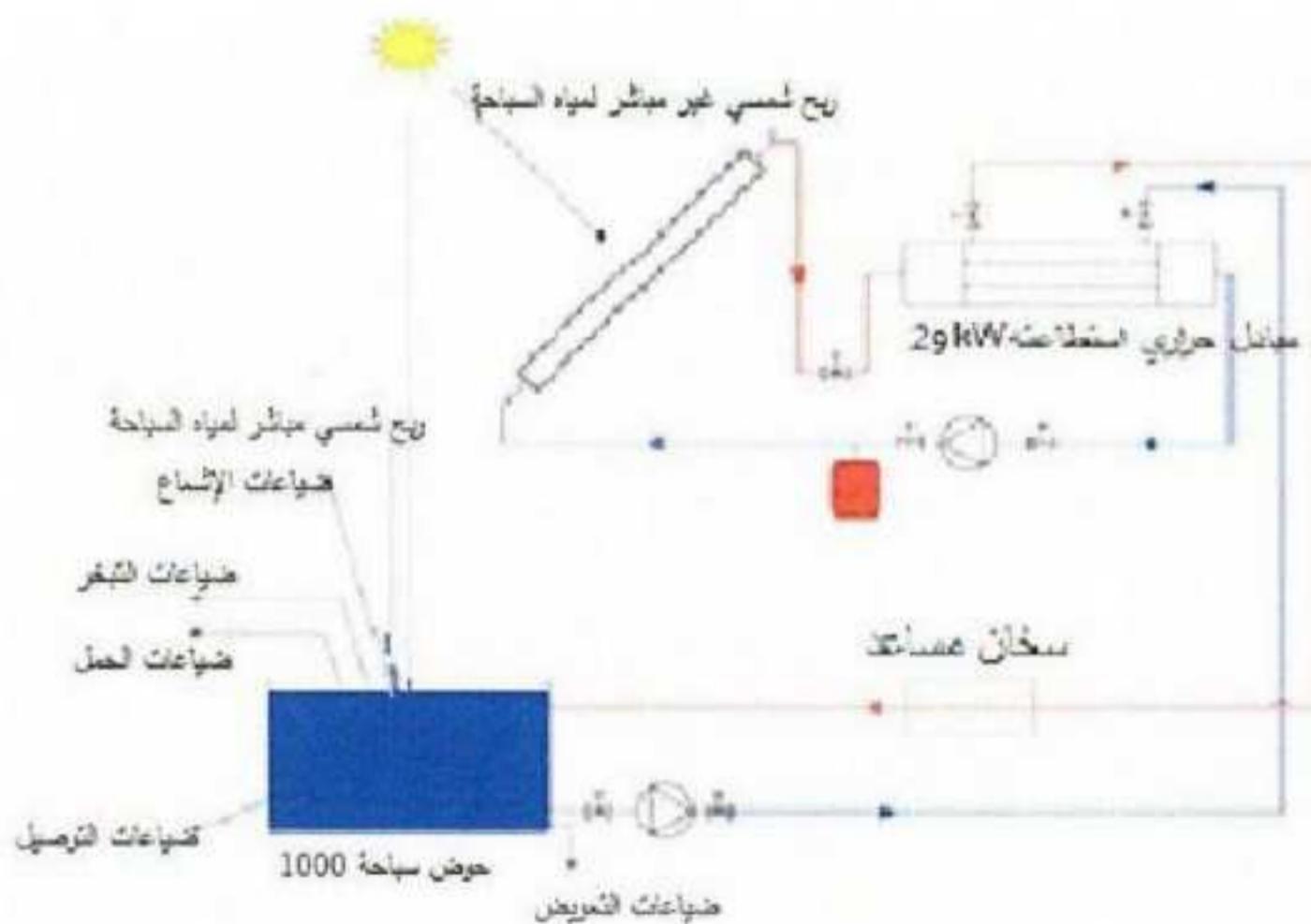
## 5-دراسة التصميم الحراري لنموذج أحواض السباحة :

يبين الشكل (1) الضياعات الحرارية من حوض السباحة والأرباح الحرارية لهذا الحوض.

يتم افتراض الشروط المناخية لأحواض السباحة الداخلية كمايلي :

أ- درجة الحرارة الخارجية العظمى [°C] 28.

ب-الرطوبة النسبية 60%.



الشكل (1) الضياعات الحرارية والأرباح الحرارية في حوض السباحة

## 1- الضياعات الحرارية:

يمكن إهمال الضياع الحراري بالإشعاع والربح الحراري الشمسي المباشر الساقط على سطح الحوض بالنسبة لأحواض السباحة المغلقة ويمكن تقسيم الضياعات الحرارية إلى ثلاثة أجزاء رئيسية وهي:

1- الضياعات بسبب التبخر من سطح الماء.

2- الضياعات الحرارية بسبب الحمل والتوصيل.

3- الضياعات بسبب تسخين الماء الجديد الذي يتم تزويده لحوض السباحة.

### A- ضياعات التبخر:

يمكن حساب ضياعات التبخر لأحواض السباحة المغلقة عن طريق المعادلة التالية :

$$W = (0.0174V + 0.0229)(P_r - P_a) \cdot \frac{760}{B} \quad (7)$$

حيث:

$W$ : هي معدل التبخر من سطح الحوض مقدرة بـ  $[kg/m^2 h]$ .

$V$  : سرعة الرياح عند سطح حوض السباحة مقدرة بـ  $[m/s]$ .

$P_r$  ،  $P_a$ : ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الماء لسطح حوض السباحة وعند درجة حرارة الوسط المحيط على التوالي مقدرة بـ  $[kPa]$ .

B: الضغط الجوي

وبالتالي يمكن حساب ضياعات التبخر مقدرة بـ  $(kW)$  من خلال المعادلة التالية:

$$Q_{eva} = W A_p r / 3600 \quad (8)$$

حيث:

$A_p$  : مساحة سطح حوض السباحة مقدرة بـ  $[m^2]$ .

$r$ : حرارة التبخر الكامنة عند درجة حرارة الحوض مقدرة بـ  $[kJ/kg]$ .

### B- ضياعات الحمل والتوصيل:

$$Q_{conv.} = A h_c \left( \frac{(T_r - T_a)}{1000} \right) [kW] \quad (9)$$

$$Q_{cond.} = A_p h_{con} (T_p - T_a) \quad [kW] \quad (10)$$

حيث:

$h_c, h_{con}$ : معامل انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل على التوالي مقدرة بـ [W/m²K]

$T_p$ : درجة حرارة ماء حوض السباحة [°C]

$T_a$ : درجة حرارة الوسط المحيط [°C] وتؤخذ مساوية لدرجة حرارة المكان الموجود فيه الحوض

### C-ضياعات تسخين ماء التعويض:

نتم إضافة الماء الجديد للحوض من أجل تعويض الضياعات الحاصلة بالتبخر والحاصلة بسبب أنشطة السباحين للمحافظة على حجم الماء داخل الحوض ومن أجل المحافظة على صحة الإنسان الذي يستخدم الحوض، ويعطى معدل كمية الماء الجديد التي تدخل أسبوعياً إلى الحوض بالعلاقة التالية:

$$\dot{m}_{makeup} = \dot{m}_{eva} + f_{makeup} \frac{\rho V_p}{7 * 86400} \quad [kg/s] \quad (11)$$

حيث:

$f_{makeup}$ : معدل الماء الداخل للحوض لتعويض الضياعات من قبل المستخدمين ( وهو لا يتضمن الضياعات الحاصلة بسبب التبخر)،

$\rho$ : كثافة الماء وتساوي [kg/m³] 1000

$\dot{m}_{eva}$ : وتنتج من قسمة ضياعات الماء بالتبخر  $\dot{Q}_{eva}$  على  $\lambda$  تسخين الكامن لتبخير الماء

$$\dot{m}_{eva} = \dot{Q}_{eva} / \lambda = 2.454 [kJ/kg]$$

$V_p$ : حجم الحوض [m³]

الطاقة المطلوبة لتسخين مياه الحوض تتعلق بكمية الماء الجديد(ماء التعويض) الذي يقدم للحوض  $Q_{makeup}$  وتعطى هذه الكمية بالعلاقة (12) يمكن افتراض كمية ماء التعويض 8% من كمية ماء الحوض الكلي:

$$Q_{makeup} = \dot{m}_{makeup} C_p (T_p - T_c) \quad (12)$$

### 2-الحمل الحراري المطلوب:

الحمل الحراري المطلوب هو الطاقة المطلوبة لتسخين الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة.

باعتبار أن  $V_L$  هو الحجم المطلوب،  $T_h$  درجة حرارة الماء المطلوبة وكلاهما يتم تحديدهما من قبل المستخدم عندئذ يكون الحمل:

$$Q_{load} = C_p \cdot \rho V_L (T_h - T_c) \quad (13)$$

حيث:

$C_p$ : السعة الحرارية للماء [kJ/kg.°C] ،  $\rho$  كثافة الماء [kg/m³] ،  $1000$  [kg/m³]

$T_c$  : درجة حرارة الماء البارد [°C].

يتم تقسيم  $Q_{req}$  حسب عدد الأيام التي سيتم استخدام النظام فيها بالأسبوع[1].  
إن كمية الطاقة المطلوبة لتسخين ماء حوض السباحة إلى درجة الحرارة المطلوبة تساوي مجموع الضياعات الحرارية من الحوض في العلاقة التالية :

$$Q_{req} = \max(Q_{eva} + Q_{conv} + Q_{ref} + Q_{makeup} + Q_{cond}) \quad (14)$$

يتم الحصول على الطاقة المطلوبة لتسخين الماء في حوض السباحة إما من الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس بواسطة اللاقط الشمسي أو من المسخن الإضافي في حال غياب الريح الشمسي. إن قيمة الطاقة الفعلية الممكن الحصول عليها من نظام التسخين الشمسي هي  $Q_{act}$  وهي القيمة الأصغرية من الطاقة المطلوبة للتسخين والطاقة التي يتم جمعها من اللاقط من المجمع الشمسي  $Q_{act}$ :

$$Q_{act} = \min(Q_{req}, Q_{act}) \quad (15)$$

أما كمية الطاقة المطلوبة من المسخن الإضافي فهي حاصل فرق كمية الطاقة المطلوبة لتسخين المياه إلى درجة الحرارة المرغوب بها وكمية الطاقة المأخوذة من اللاقط الشمسي[4]:

$$Q_{aux} = Q_{req} - Q_{act} \quad (16)$$

### 3 طاقة الضخ:

تحسب طاقة الضخ من العلاقة التالية :

$$Q_{pump} = N_{coll} \cdot P_{pump} \cdot A_c \quad (17)$$

حيث:

$P_{pump}$  : هي قوة الضخ بالنسبة لمساحة المجمع،

$N_{coll}$  : عدد الساعات بالسنة التي يكون فيها المجمع في حالة عمل يمكن الحصول على قيمة افتراضية  $N_{coll}$  ياتباع الطريقة التالية: عندما يعمل المجمع بدون ضياعات في فترة سطوع الشمس فإنه يتم

الحصول على مقدار من الطاقة يحسب من العلاقة:  $A_c F_R (\bar{H}_T) \tau \alpha$

حيث:

$A_c$  : مساحة اللاقط الشمسي،

$F_R$  :: معامل انتقال الحرارة للاقط ،

$(\bar{\tau} \alpha)$  : متوسط جداء معامل نفوذية الغطاء الشفاف بمعامل امتصاص السطح الماصل،

$\bar{H}_T$  : المتوسط الشهري الكلي للإشعاع الشمسي اليومي.

أما في حال وجود ضياعات فإن الطاقة الفعلية التي تحصل عليها تقدر بـ  $(Q_{act} (1 + f_{loss}))$

حيث  $Q_{act}$  هي الطاقة المأخوذة من النظام و  $f_{loss}$  نسبة الطاقة المفقودة إلى الوسط المحيط بواسطة

الألياف والخزان، وبالتالي يمكن ببساطة افتراض قيمة  $N_{coll}$  كمعدل للكميتين السابقتين مضرورة بعدد ساعات اليوم التي يكون فيها النظام في حالة عمل وذلك بالنسبة لكل شهر  $N_{daytime}$  كما في العلاقة التالية [1]:

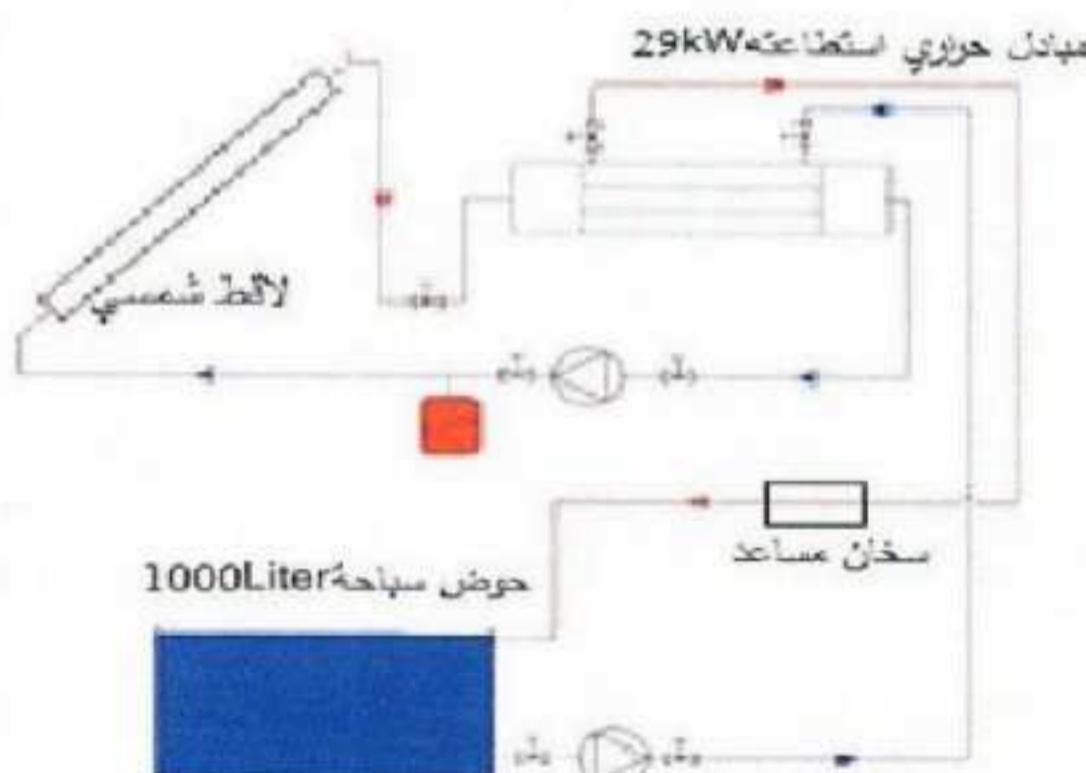
$$N_{coll} = \frac{Q_{abs}(1 + f_{loss})}{A_c F_R(\tau\alpha) H_r} N_{daytime} \quad (19)$$

#### 4-وصف النموذج المدروس:

تتألف الدارة التجريبية لحوض السباحة من دارتين هما دارة اللوافط الشمسية ودارة حوض السباحة يفصل بينهما المبادل الحراري الأنبوبي. يبين الشكل (2) رسمًا تخطيطيًّا للنموذج . نفذت المحاكاة باستخدام برنامج TRNSYS.

تتألف الدارة الشمسية من لاقط شمسي ومضخة ومبادل حراري أنبوبي وأنابيب توصيل وصمامات وإكسسوارات موجودة في أماكن متعددة من الدارة. وتمثيل اللوافط الشمسية بمقدار  $45^\circ$  تجاه الجنوب وهذه اللوافط من نوع [Vitosol 100] طوله:  $h = 2.385 \text{ m}$  وعرضه  $w = 1.138 \text{ m}$  ، عرضه  $h = 2.385 \text{ m}$  وعرضه  $w = 1.138 \text{ m}$  ، والتداير المعطى في كل لاقط:  $0.03 \text{ L/s}$  بكماء تبلغ  $0.83 \text{ m}^3$  ،  $\eta = 0.03$  ،  $F_R(\tau\alpha) = 84\%$  ،  $F_R U_L = 3.36 \text{ W/m}^2 \text{ C}^\circ$

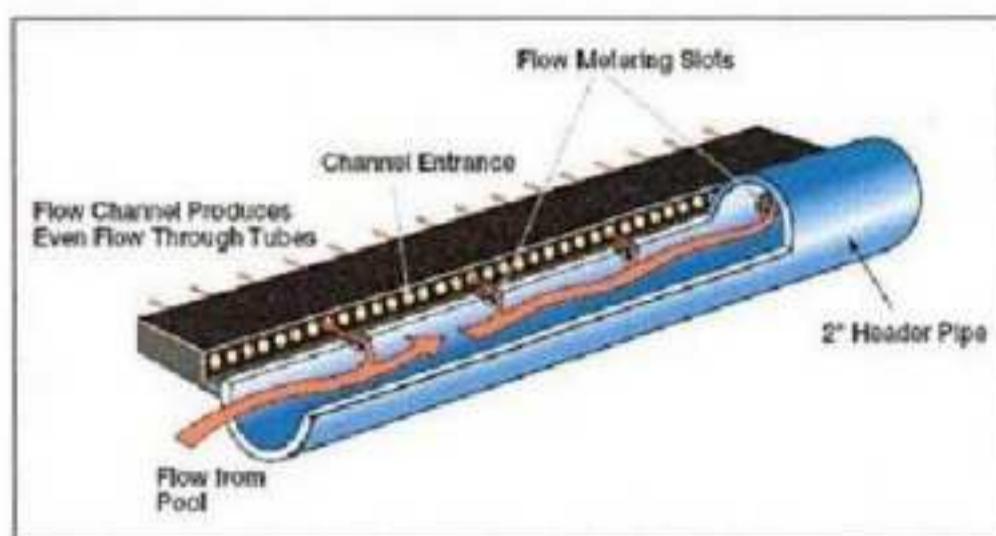
تتكون الدارة الثانية من حوض السباحة ومضخة تضخ الماء من حوض السباحة إلى الفلتر ومنه إلى المبادل الحراري الأنبوبي فالمسخن المساعد حيث يتم رفع درجة حرارته إلى الدرجة المطلوبة في حال عدم كفاية حرارة اللاقط الشمسي ثم إلى الحوض [1] . حجم الماء في الحوض  $1 \text{ m}^3$  وهو معزول بالفوم وحببيات ستيريبور بسماكة  $5 \text{ cm}$ .



الشكل (2) رسم تخطيطي لنموذج حوض السباحة المدروس

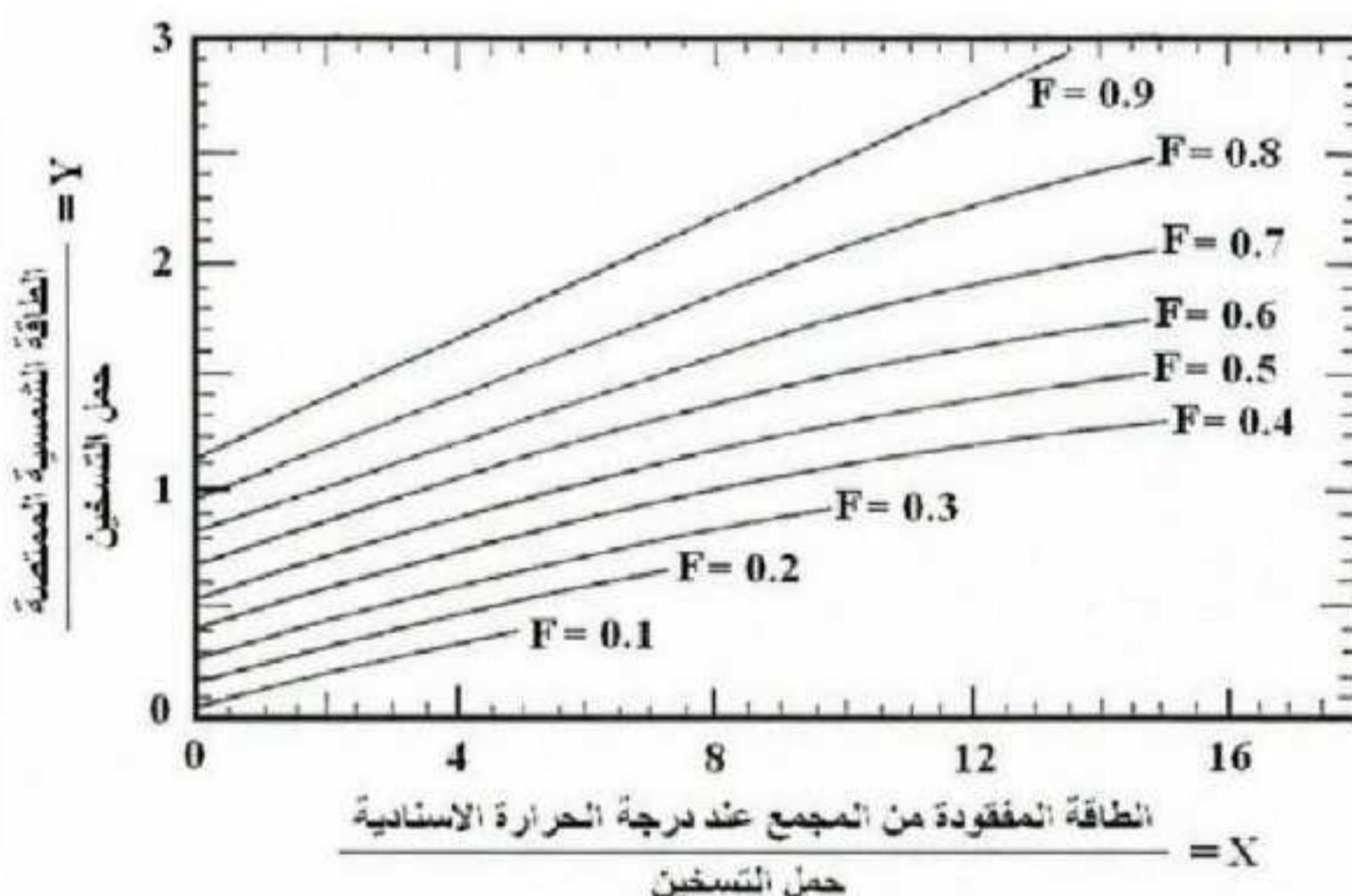
## 6- حساب مساحة اللوافط ( طريقة f-chart )

يبين الشكل (3) مجمع شمسي صفائحى غير مغطى بطبقة زجاجية.



الشكل (3) مجمع شمسي صفائحى غير مغطى بطبقة زجاجية

إن الغرض من استخدام طريقة المخطط - F (f-chart) هو حساب  $F$  و هو الجزء من الحمل الحراري للماء الذي يتم الحصول عليه من النظام الشمسي، وتمكن هذه الطريقة من حساب الكمية الشهرية من الطاقة التي يجب أن يقدمها نظام التسخين الشمسي مع تخزين لتأمين المياه الساخنة الضرورية وذلك من خلال إعطاء القيم الشهرية للأشعة الشمسية الماقutaة ودرجة حرارة الجو المحيط و الحمل ، وبالتالي يمكن تحديد النسبة السنوية التي تتحملها الطاقة الشمسية من الحمل الحراري المطلوب ويجرى تحديد المساحة المئلي لنوع معين من اللوافط بناء على الدراسة السابقة [1]. ومخطط  $f$  كما يبينه الشكل (4) يمثل العلاقة بين ثلاثة كميات لا بعديّة هي:



الشكل (4) مخطط - f

X: الطاقة المفقودة من المجمع عند درجة الحرارة الإسنادية (أي درجة الحرارة المرجعية التجريبية للاقط  $T_{ref}$  وتؤخذ مساوية لـ  $100^{\circ}C$  وهي درجة غليان الماء عند الضغط الجوي) مقسومة على حمل التسخين، وهي تعتمد على مدى كفاءة تصميم المجمع،

Y: نسبة الطاقة الشمسية الممنصنة من اللاقط مقسومة على حمل التسخين وهي تعتمد على موقع استخدام اللاقط ومقدار الطاقة الشمسية الواردة إليه.

f: نسبة التغطية الشمسية الشهرية من الحمل الحراري الشهري المطلوب.

يتم حساب X و Y كالتالي:

$$X = \frac{A_c \cdot F_R U_L \cdot [F'_R / F_R] (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t}{L}$$

$$Y = \frac{A_c F_R (\bar{\tau}\alpha)_n \cdot [F'_R / F_R] \cdot [(\bar{\tau}\alpha) / (\bar{\tau}\alpha)_n] H_T \cdot N}{L}$$

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

$$0 < Y < 3 ; 0 < X < 18$$

حيث:

$A_c$ : مساحة اللاقط الشمسي [ $m^2$ ]

$F_R$ : معامل نقل الحرارة،

$U_L$ : معامل الضياعات الكلية للاقط الشمسي [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$T_{ref}$ : درجة حرارة الإسنادية (أي درجة الحرارة المرجعية التجريبية للاقط  $T_{ref}$  وتؤخذ مساوية لـ  $100^{\circ}C$  وهي درجة غليان الماء عند الضغط الجوي)،

$T_a$ : المتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط [ $^\circ C$ ]

L: الحمل الحراري الشهري الكلي [MJ]

$\Delta t$ : عدد الثواني في الشهر المدروس،

$(\bar{\tau}\alpha)_n$ : المتوسط الشهري لامتصاصية ونفوذية اللاقط الشمسي للأشعة الساقطة عمودياً على سطح اللاقط،

$(\bar{\tau}\alpha)/(\bar{\tau}\alpha)_n$ : التصحيح في قيمة  $(\bar{\tau}\alpha)$  والناتج عن تغير زاوية ورود الأشعة الشمسية على سطح المجمع،

: المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي اليومي الساقط على سطح اللاقط بالنسبة لواحدة المساحة  $H_T$   
، [MJ/m<sup>2</sup>.day]

N: عدد أيام الشهر [day]

$F'_R$  : لمعرفة تأثير المبادل الحراري بين اللاقط الشمسي والخزان،

[ $F'_R / F_R$ ] نسبة تصحيح معامل نقل الحرارة بسبب وجود المبادل الحراري، وفي حال لا يوجد مبادل حراري تكون مساوية الواحد.

الجدول (1) في حساب المساحة المثلثي للوacket

F•P	الإنتاجية الطافية P	معامل التغطية F	أذار	شباط	كانون الثاني	كانون الأول	تشرين الثاني	5
1006	1290	0.78	1.3966	1.1986	1.1314	1.1450	1.2486	X
			1.7517	1.3573	0.9389	1.2395	1.8477	Y
			1.079	0.9235	0.6967	0.8679	1.122	f <sub>i</sub>
			1281.85	1393.84	1661.91	1622.54	1365.3	L <sub>i</sub>

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$$

يعين معامل التغطية الشمية F بالعلاقة:

وتعرف الإنتاجية الطافية P بأنها الطاقة المفيدة الناتجة عن كل متر مربع من اللوacket وتعطى

$$L_f / A_c = P$$

$$\text{حيث: } L_f = \sum L_i f_i$$

،  $L_i$  : الحمل لكل شهر،

$f_i$  : نسبة التغطية الشمية لكل شهر،

$A_c$  : مساحة اللاقط الشمسي المستخدم [m<sup>2</sup>].

إن معامل التغطية F والإنتاجية الطافية P يتبعان لمساحة اللاقط، فمع زيادة المساحة تزداد قيمة F حتى تصل إلى القيمة واحد عند ( $A=A_{max}$ )، أما الإنتاجية الطافية P فهي تتلاصق مع زيادة المساحة ولكن يكون النظام ذو فعالية عالية من الناحية الحرارية لابد من تحقق الشرطين التاليين:  
- معامل التغطية مرتفع.

## ٥- إنتاجية طاقية عالية.

إن مساحة اللوافط التي تحقق هذين الشرطين هي المساحة المثالية وتنتج عندما يكون الجداء  $F.P$  أعلاه وأقل بلغ الحمل الحراري السنوي للنموذج المدروس [MJ] 11915 بينما بلغت قيمة الحمل الحراري الذي سيتم تغطيته بالطاقة الشمسية سنوياً [MJ] 8719 . بلغ معامل التغطية الشمسية  $F=78\%$  عند مساحة اللوافط ( $5m^2$ )، و كذلك بلغت الإنتاجية الطاقية  $P=1290$  وبهذا فإن أعلى قيمة للجاء  $F \cdot P = 1006[MJ]$  عند نفس المساحة، وبهذا تكون المساحة المثلثة للوافط التي تتحقق الشرطين السابقين هي ( $5m^2$ ). الأنابيب المستخدمة في دارة حوض السباحة هي أنابيب Pex المنيوم [mm] 32 قطرها .

## ٦- مواصفات المضخة:

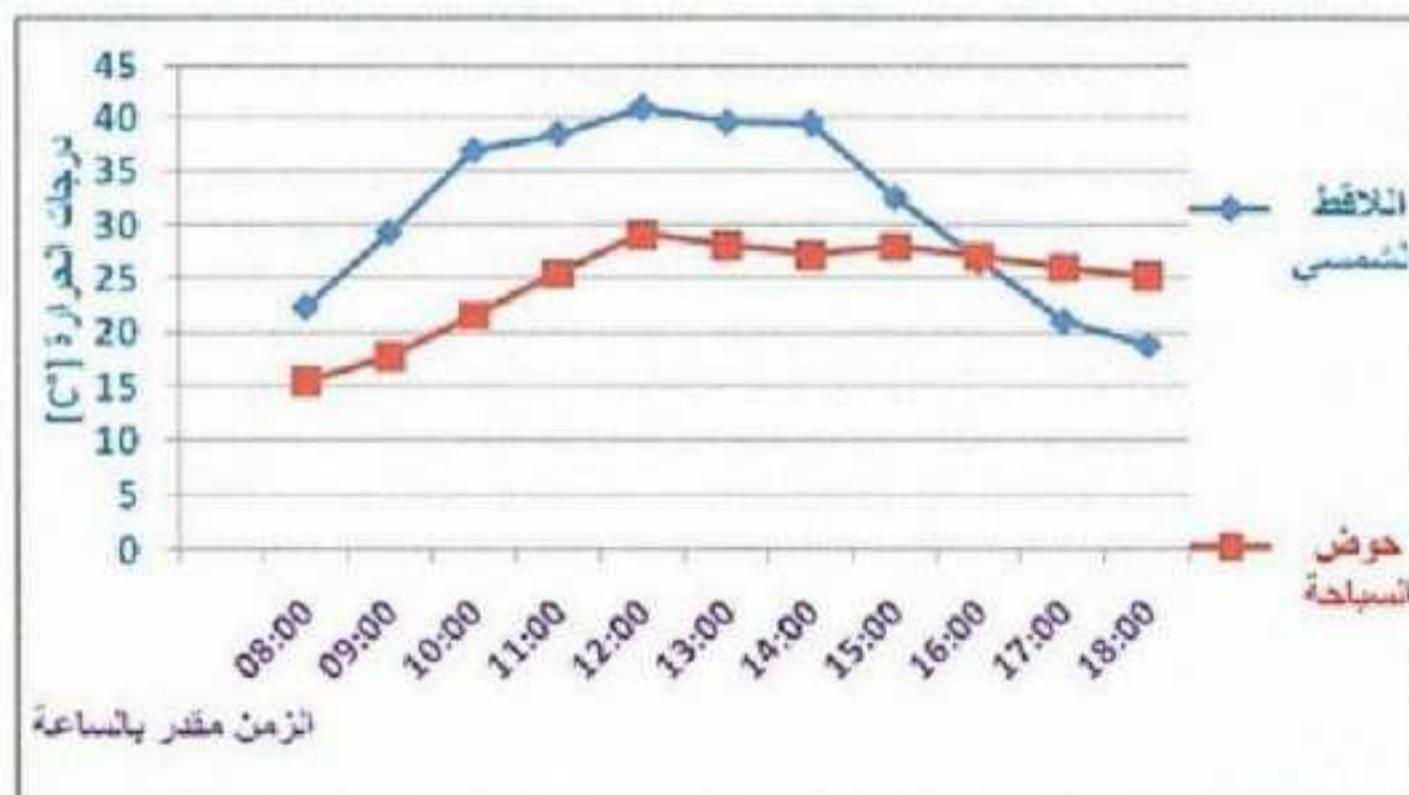
تدفق المضخة  $1.25[m^3/h]$  الواقعة بين المبادل الحراري واللوافط الشمسي وانخفاض الضغط لهذه المضخة يساوي  $32.7 [kPa]$  ، أما تدفق المضخة الواقعة بين حوض السباحة والمبادل الحراري هو  $2.15 [m^3/h]$  وانخفاض الضغط  $11.3 [kPa]$

## ٧- المبادل الحراري:

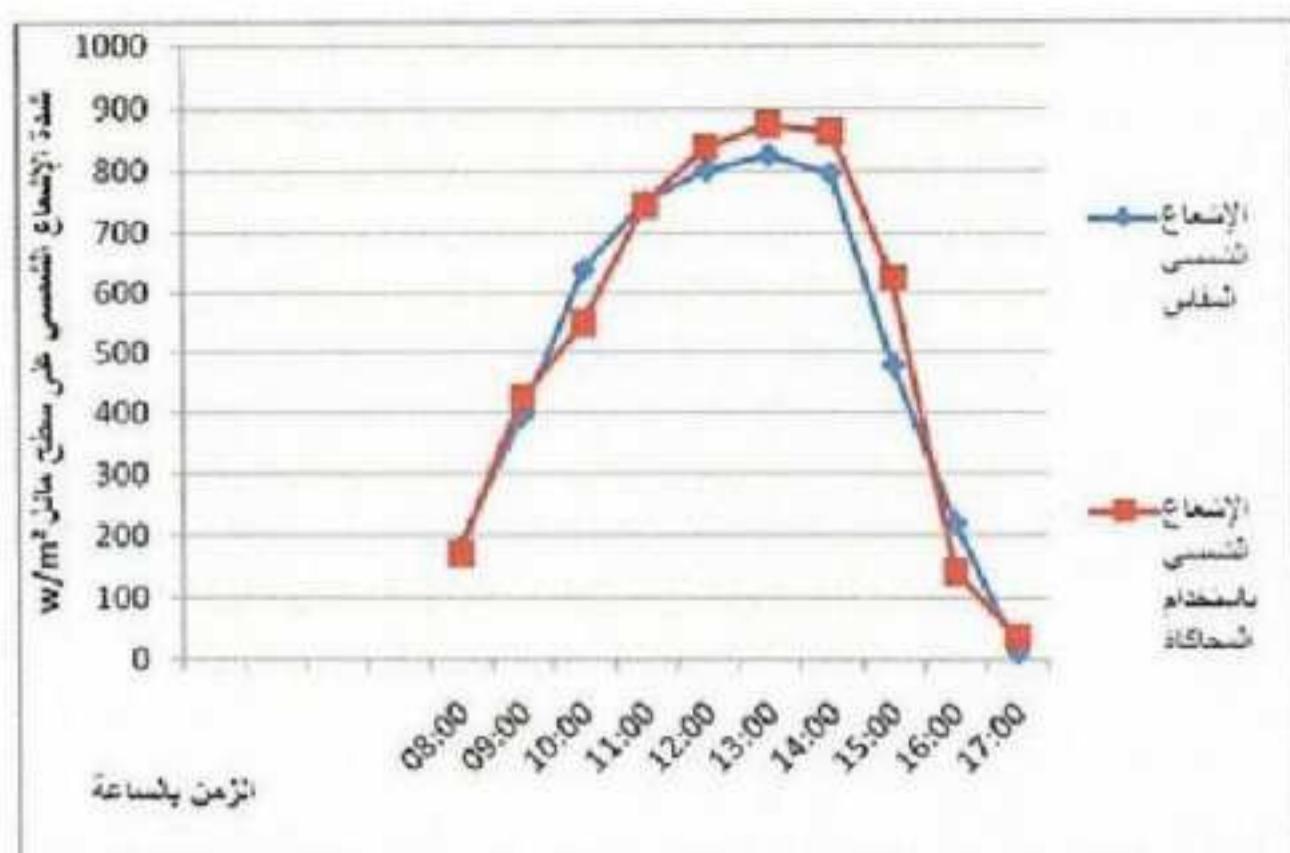
المبادل الحراري الأنبوبي المستعمل في تدفئة المسابح والمصنوع من الستانلس ستيل يتمتع بجودة عالية ومتانة ذو استطاعة  $[kW] 29$  وبسطح تبادل حراري  $[m^2] 0.45$  وهو مناسب لتدفئة حوض السباحة الموجود لدينا والذي يحوي على ماء بحجم  $[m^3] 1$  .

## ٨- اختبارات أحواض السباحة المغلقة :

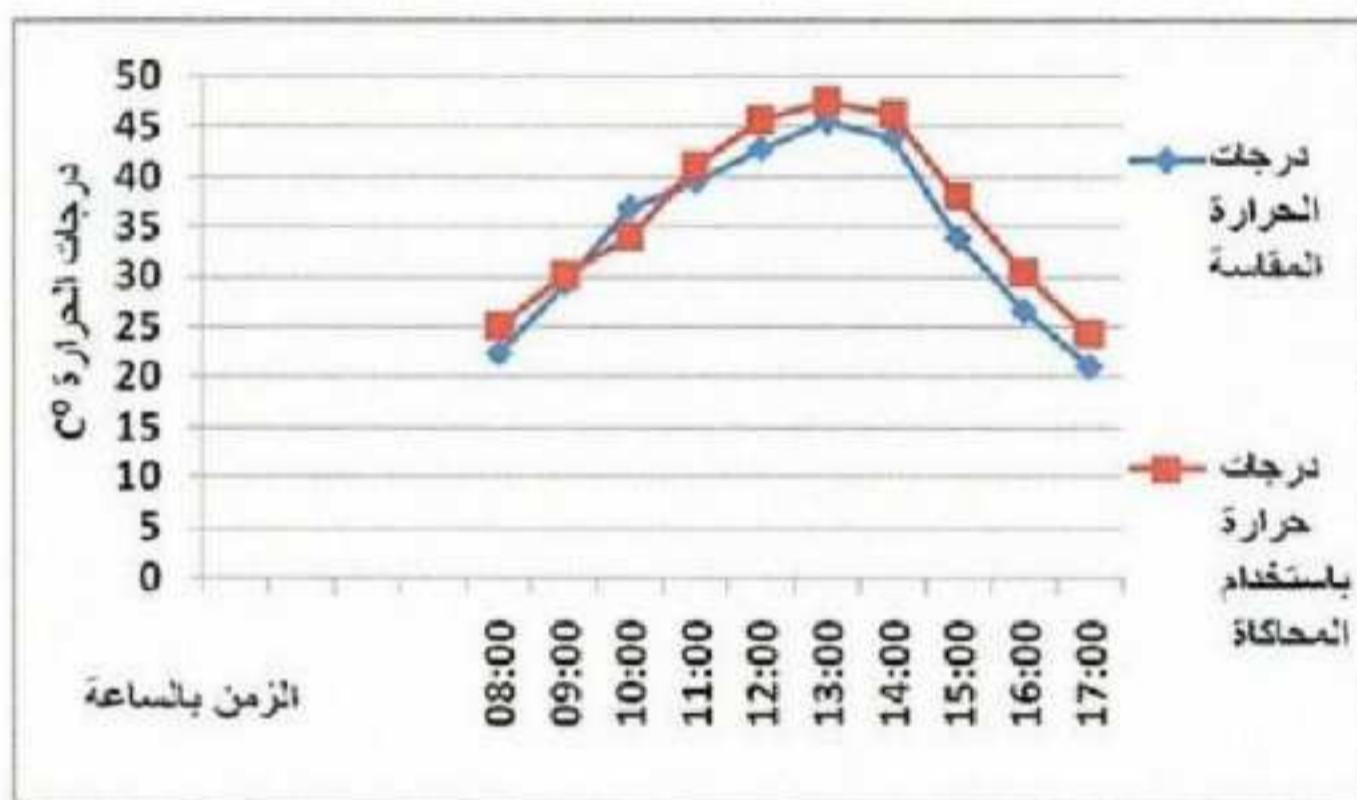
تمأخذ قراءات درجات الحرارة في ثلاثة نقاط في حوض السباحة في الأسفل والوسط وعند الطبقة السطحية لماء الحوض وقد تم إجراء النتيجة باستخدام برنامج TRNSYS وبعد ذلك تم إجراء مقارنة بين النتائج التجريبية وبين نتائج المحاكاة كما تبيّن المخططات التالية (مدة إجراء التجارب أربعة عشرة يوماً في شهر كانون الثاني) :



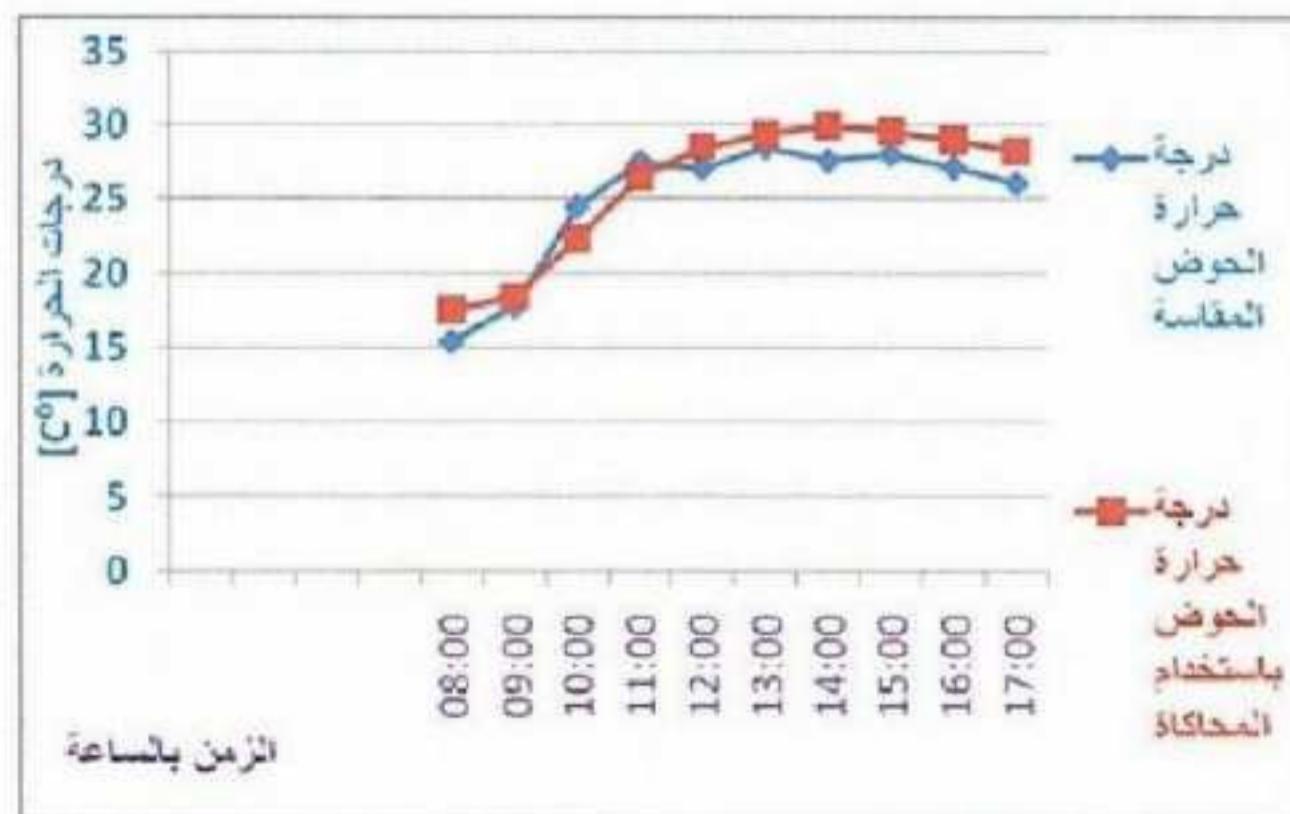
الشكل (5) علاقة متوسط درجة حرارة خروج الماء من اللوافط الشمسي في شهر كانون الثاني مع درجة حرارة حوض السباحة المغلق



الشكل (6) مقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة لمتوسط شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل في شهر كانون الثاني



الشكل (7) مقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة لدرجة حرارة خروج الماء من اللافظ في شهر كانون الثاني



الشكل (8) مقارنة بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة لدرجة حرارة حوض السباحة المغلق في شهر كانون الثاني

**10- النتائج والمناقشة:** أجريت التجارب على حوض السباحة المغلق المستخدم في فصل الشتاء في شهر كانون الثاني:

- 1- بلغت أعلى درجة حرارة لمياه حوض السباحة في شهر كانون الثاني  $29.5^{\circ}\text{C}$  ،
- 2- بلغت أعلى درجة حرارة للمياه الخارجة من اللافت في شهر كانون الثاني  $45^{\circ}\text{C}$  ،
- 3- الخطأ في قياس درجات الحرارة التجريبية والنمدجة حوالي  $3.5\%$
- 4- أعلى شدة إشعاع شمسي في شهر كانون الثاني  $[890\text{W/m}^2]$  ،
- 5 - الخطأ في قياس شدة الإشعاع الشمسي التجاري والنمدجة حوالي  $1.4\%$  ،
- 6 - درجة الحرارة المعتمدة في الحوض  $28^{\circ}\text{C}$  وعندما تكون أخفض من ذلك تحتاج إلى مسخن إضافي.
- 7 - بلغت نسبة التغطية الشمسية السنوية لتسخين مياه الحوض  $78\%$  من قيمة الحمل الحراري السنوي لمياه الحوض.

### **11- الاستنتاجات والتوصيات:**

- 1- تتبع درجة حرارة خروج الماء من اللافت الشمسي شدة الإشعاع الشمسي،
- 2- تتأخر ذروة درجة حرارة الحوض زمنياً عن ذروة درجة حرارة خروج الماء من اللافت بسبب العطالة الحرارية وهذا مفيد في إمكانية السباحة بعد غروب الشمس،
- 3- العزل الحراري الجيد لحوض السباحة وبقية أجزاء الدارة يفيد بالاحتفاظ بدرجة حرارة بحدود  $25^{\circ}\text{C}$  لوقت متأخر ليلاً،
- 4- أظهرت المقارنة تقاربًا واضحًا بين النتائج التجريبية ونتائج المحاكاة وهذا يدل على صحة تصميم النموذج ودقة القياسات التجريبية،
- 5- نشر استخدام الطاقة الشمسية في تسخين مياه أحوض السباحة لأن ذلك يوفر الوقود التقليدي ويقلل الآثار الضارة للبيئة للوسط المحيط،
- 6- الدعم المالي لمشاريع وأبحاث الطاقة الشمسية من قبل القطاعين العام والخاص .

### **المراجع العلمية**

- 1 - CZARNECKI, J. T(1978). **Swimming Pool Heating by Solar Energy**, CSIRO Division of Mechanical Engineering
- 2-Vitosol-Technical Guide: written by: VIESSMANN COMPANY
- 3- [www.nasa.com](http://www.nasa.com)
- 4- [www.solarexpert.com](http://www.solarexpert.com)
- 5- [www.viessmann.com](http://www.viessmann.com)

## **Performance Evaluation of Indoor Swimming Pools Solar Heating Circle**

**Dr. Amina Fares**

University of Damascus, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Dept. General Mechanic-renewable energy

### **Abstract**

This search treats the key components of indoor swimming pools heating circle using the solar energy which is widely available in our country. Then making the experiments on the prototype of swimming pool, and by making a generalized computer program using TRNSYS, from this simulation program changes which happened on the swimming pools with solar radiation changes can be known.

The main factor in changing the swimming pool temperature is the solar radiation; the second factor is the change of ambient temperature. As a result, the saving energy has been about 78% of the energy usually needed for heating swimming pool water annually.

**Key words:** Solar collector-Passive solar gain-Active solar gain-TRNSYS-Swimming pool