

## التصميم بمساعدة الحاسوب ونمذجة نظام تسخين المياه المنزلية بالطاقة الشمسية مع كفاءات مختلفة للاقط الشمسي وحجوم مختلفة لحوض التخزين

الدكتور سمير كفا\*

الدكتور يوسف ياخور\*\*

(تاريخ الإيداع 3 / 1 / 2012. قُبل للنشر في 1 / 4 / 2012)

### □ ملخص □

يبين هذا البحث نمذجة سخان الشمسي للمياه المنزلية، ومحاكاته الديناميكية. أنجزت المحاكاة على أساس سنوي لنظام شمسي يعمل في مدينة اللاذقية بسورية، وهو يؤمن الماء الساخن لأسرة مؤلفة من أربعة أشخاص، ويتألف من لاقط شمسي مسطح، حوض تخزين الماء، منبع طاقة مساعد و جهاز لخلط الماء. استخدم الموديل الرياضي لتقويم التغير السنوي لنسبة التغطية الشمسية وفقاً أو تبعاً لحجم حوض التخزين، درجة حرارة الماء الساخن المطلوبة، الفارق بين هذه الدرجة، ودرجة حرارة المياه في حوض التخزين وبشكل عام الطلب المنزلي على الماء الساخن. أظهرت النتائج لعدد من التصاميم المختلفة ذات أحجام أحواض تخزين مختلفة بأن الأنظمة ذات الحجم الكبير تنتج قيماً أكبر لنسبة التغطية الشمسية. على كل حال، عندما يستخدم حوض تخزين كبير، فإن نسبة التغطية الشمسية تكون أقل تأثيراً بتغير بارمترات التشغيل الأخرى. يمكن أن تستخدم نتائج المحاكاة لتصميم نظام لاقط شمسي.

الكلمات المفتاحية: اللاقط الشمسي - حوض التخزين - النمذجة - المحاكاة.

\* أستاذ في قسم هندسة التصميم والإنتاج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.  
\*\* أستاذ في قسم هندسة القوى الميكانيكية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا.

## Computer-Aided Design of a Solar Domestic Water Heating Systems, With Different Collector Efficiencies and Different Volume Storage Tanks

Dr. Samir Kafa \*  
Dr. Youssef Yakhour \*\*

(Received 3 / 1 / 2011. Accepted 1 / 4 / 2012)

### □ ABSTRACT □

This paper shows the modeling and dynamic simulation, of a domestic solar water heating installation.

The results of simulations performed on an annual basis for a solar system, operated in Lattakia (Syria), which provides hot water for family (four persons) are presented. The installation consists of a solar flat collector, a water storage tank, a source of auxiliary energy, and a device for blending water.

The mathematical model is used to evaluate the annual variation of the solar fraction respect to the volume of the storage tank, demand hot water temperature according, difference of this temperature and preset storage tank water temperature, and consumption profile of the domestic hot water demand.

The results for a number of designs with different storage tank volumes show that the systems with greater volume yield higher solar fraction values. However, when a larger storage tank volume is used, the solar fraction is less sensitive to a variation of these operation parameters. The results of this simulation may be used to design a solar collector system.

**Keywords:** Solar Collector; Storage Tank; Modeling; Simulation.

---

\* Professor, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

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

**مقدمة:**

يتكون العالم العربي من اثنتين وعشرين دولة تشغل منطقة جغرافية تمتد من المحيط الأطلسي (خط طول 17 غرباً) إلى المحيط الهندي (خط طول 60 شرقاً) وفي الجنوب من وسط أفريقيا (خط عرض 2 شمالاً) إلى شاطئ البحر المتوسط الشمالي (خط عرض 37.5 شمالاً) . أية مساحة كلية قدرها ثلاثة عشر مليوناً وسبعمئة ألف كيلومتراً مربعاً .

ويبلغ المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على المستوي الأفقي حوالي خمسة كيلوات ساعي، لكل متر مربع في اليوم الواحد. وهذا يعني أن الدول العربية تتلقى طاقة شمسية مقدارها  $685 \times 10^{11}$  كيلوات ساعي، وهذا يعادل  $34.25 \times 10^8$  ميغاوات ساعة من الطاقة الكهربائية إذا استخدمت خلايا شمسية ذات كفاءة خمسة بالمائة. وهذا بالتالي يكفي 383.75 مليون برميل نפט يومياً ، أي مايعادل عشرين ضعف إنتاج البترول لدول الأوبك مجتمعة في الوقت الحاضر . كما تقدر ساعات سطوع الشمس في معظم الدول العربية بثلاثة آلاف ساعة سنوياً. هذا من ناحية ، ومن ناحية أخرى فخلال السنوات الماضية من القرن العشرين، بُذلت جهود حثيثة للتخفيف من مشكلة الاحتباس الحراري للأرض، الناجمة عن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي . تتولد هذه الانبعاثات بشكل أساسي من حرق الوقود الأحفوري بشكل كثيف لتأمين الاحتياجات المتزايدة للبشرية من الطاقة . يمكن أن تخفف انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون عندما يتم تأمين جزء كافي ومقنع من الطاقة المطلوبة عن طريق المصادر المتجددة للطاقة ، على سبيل المثال الطاقة الشمسية بدلاً من الوقود الأحفوري [1].

كل ماسبق يبين ضرورة الاستفادة القصوى من هذه الطاقة المجانية العملاقة . وتعدّ الاستعمالات المنزلية أولى التطبيقات العملية التي يمكن استخدامها وانتشارها بتكبيات بسيطة ونفقات زهيدة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

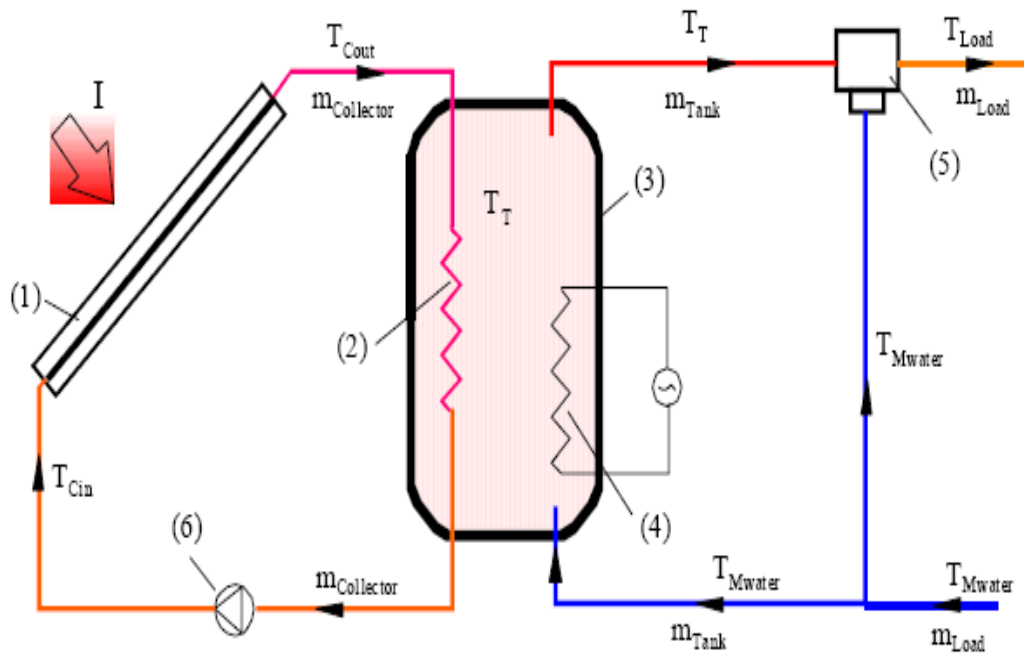
إن تسخين الماء بالطاقة الشمسية أو مايسمى أنظمة تأمين الماء الساخن للمنزل بمساعدة الطاقة الشمسية (Domestic Hot Water) يعد أحد أكثر الطرق التقليدية انتشاراً لاستغلال الطاقة الشمسية المحلية. وينبغي لأنظمة الطاقة الشمسية (DHW) حتى تؤمن الماء الساخن اللازم، أن تصمم وتعمل بشكل مثالي. بهذه الطريقة، فإن كفاءة الطاقة لهذا النظام يمكن أن تتحقق إما بالتجريب، أو من خلال النمذجة، والمحاكاة [2,3] . يُظهر هذا البحث نتائج عمليات المحاكاة الحاسوبية المنفذة بغرض التحقق من فعالية ومردود النظام الشمسي .

يجب أن يتألف مثل هذا النظام من عنصرين أساسيين هما اللاقط الشمسي، وحوض التخزين. يأخذ النموذج الرياضي بالحسبان التغيرات اليومية والسنوية لدرجة حرارة المحيط، والإشعاع الشمسي ، ويستخدم هذا النموذج الرياضي لتطوير برنامج محاكاة محدد . تعطي عمليات المحاكاة المنجزة من خلال هذا البرنامج نسب التغطية الشمسية لعدة أنظمة ذات تصاميم مختلفة للواقط الشمسية و أحجام مختلفة لأحواض التخزين .

**طرائق البحث ومواده:****- بنية النظام:**

يبين الشكل (1) مخططاً توضيحياً للنظام الشمسي، وهو مكون من لاقط شمسي مسطح ، حوض تخزين الماء

(خزان الماء)، مبادل حراري، منبع طاقة مساعد وجهاز خلط الماء. يقوم اللاقط الشمسي بتجميع الطاقة الشمسية، و تسخين الماء العامل المتدفق. يدخل الماء العامل من اللاقط إلى السخان المساعد الموجود داخل حوض التخزين (خزان الماء) ثم يعطي حرارته إلى ماء حوض التخزين، ويعود بعدها إلى اللاقط الشمسي حيث يُسَخَّنُ مَرَّةً أُخْرَى بالطاقة الشمسية، يحتوي حوض التخزين على الماء الذي يكتسب الحرارة من المبادل الحراري. يدخل الماء البارد إلى حوض التخزين من أسفله، ويوجد مخرج الماء الساخن في الأعلى، من الممكن أن يُبَرَّدَ الماء الساخن قبل الاستخدام المباشر في المنزل إلى (45 C°) ويتم تبريد الماء باستخدام جهاز الخلط عن طريق إضافة ماء بارد من شبكة الأنابيب كما يظهر في الشكل (1). تستخدم مقاومة تسخين كهربائية كسخان مساعد عندما تكون درجة حرارة الماء في حوض الخزن أقل من (60 C°).



الشكل (1) رسم تخطيطي للنظام DHW : 1 -- اللاقط الشمسي ، 2 -- السخان الشمسي ، 3 --

4 -- السخان الكهربائي ، 5

الخزان ،

-- جهاز خلط ، 6 -- مضخة الماء

### برنامج المحاكاة:

تمت نمذجة أداء النظام من خلال برنامج محاكاة كتب بلغة الـ (MATLAB). يقوم هذا البرنامج بحساب الكسب الحراري الشمسي لنظام معين اعتماداً على الإشعاع ودرجة حرارة المحيط و خط العرض و البارامترات الخاصة بنظام اللاقط الشمسي و الطاقة الكلية المطلوبة لتسخين الماء ، أيضاً ملفات الحمل اليومي، والسنوي . تمت معايرة الخطوة الزمنية على أساس  $h_1$ ، وتعطى النتائج بتكرار الحل شهرياً . ندرج فيما يلي العلاقات المستخدمة لإنشاء الموديل الرياضي اللازم لنمذجة النظام الشمسي في القسمين (A) و (B) ، [4,5] .

إن وحدة المعالجة المركزية النموذجية تستغرق بضع ثوانٍ لإنجاز حسابات سنة كاملة بخطوة زمنية  $h_1$  وذلك بمساعدة الحاسوب. يمثل برنامج المحاكاة أداة فعالة لدراسة تأثيرات بارامترات تصميمية عديدة .

### A. الموديل الرياضي

تُحسب درجة حرارة الماء عند مخرج اللاقط الشمسي خلال لحظة معينة من المعادلة (1):

$$T_{Cout} = T_{Cin} + \frac{I\eta_c S_c}{(\dot{m}C_p)_{collector}} \quad (1)$$

ربما تكون كفاءة اللاقط الشمسي ومردوده المكون الأول للاقترب قدر الإمكان من التابع الخطي في التعبير

$(T_{Cin} - T_{amb})/I$  حيث :

$$\eta_c = F_R(\tau \cdot a) - (F_R U_C) \frac{T_{Cin} - T_{amb}}{I} = a - b \frac{\Delta T}{I} \quad (2)$$

أما معدل الطاقة المضافة من اللاقط فهو :

$$\dot{Q}_{collector} = I\eta_c S_c \quad (3)$$

كفاءة المبادل الحراري (P)، من الماء العامل إلى الماء المخزن تُحسب من خلال المعادلة (4) :

$$P = \frac{T_{Cout} - T_{Cin}}{T_{Cout} - T_T} \quad (4)$$

أما ضياعات الحرارة في الخزان فتعطى بالمعادلة (5) :

$$Q_{Loss} = (S_T U_T)(T_T - T_{amb}') \quad (5)$$

يعبر عن الطاقة المزالة من الخزان، والمزودة إلى الحمل كمايلي :

$$\dot{Q}_{removal} = \dot{m}_{Tank} (C_p)_W (T_T - T_{Mwater}) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{Load} = \dot{m}_{Load} (C_p)_W (T_{Load} - T_{Mwater}) \quad (7)$$

من المعادلات (6) و (7) نحصل على العلاقة بين نسب التدفق إلى الخزان و إلى الحمل:

$$\dot{m}_{Tank} = \dot{m}_{load} \frac{(T_{Load} - T_{Mwater})}{(T_T - T_{Mwater})} \quad (8)$$

يستخدم السخان المساعد عندما تكون درجة حرارة الماء في الخزان (حوض التخزين)  $(T_T)$  أقل من  $60^\circ\text{C}$  ،

في هذه الحالة تُحسب الطاقة المساعدة من المعادلة (9):

$$Q_{Aux} = M_{Tank} (C_p)_{water} (60 - T_T) \quad (9)$$

ومن توازن الطاقة في الخزان ينتج :

$$M_{Tank} (C_p)_{water} \frac{dT_T}{dt} = \dot{Q}_{collector} - \dot{Q}_{losses} - \dot{Q}_{load} \quad (10)$$

بمكاملة هذه المعادلة بالنسبة إلى الزمن يتم تحديد الأداء طويل الأمد لوحدة التخزين، والطاقة الشمسية . بحلها

سنحصل في النهاية على صيغة مختلفة تحل بدورها من أجل درجة حرارة الخزان عند نهاية الزمنية  $(h_1)$  .

يفترض أن درجات الحرارة غير متغيرة خلال الساعة.

تقيم كفاءة التركيب من خلال حساب النسبة السنوية للتغطية الشمسية  $f$  باستخدام المعادلة (11) :

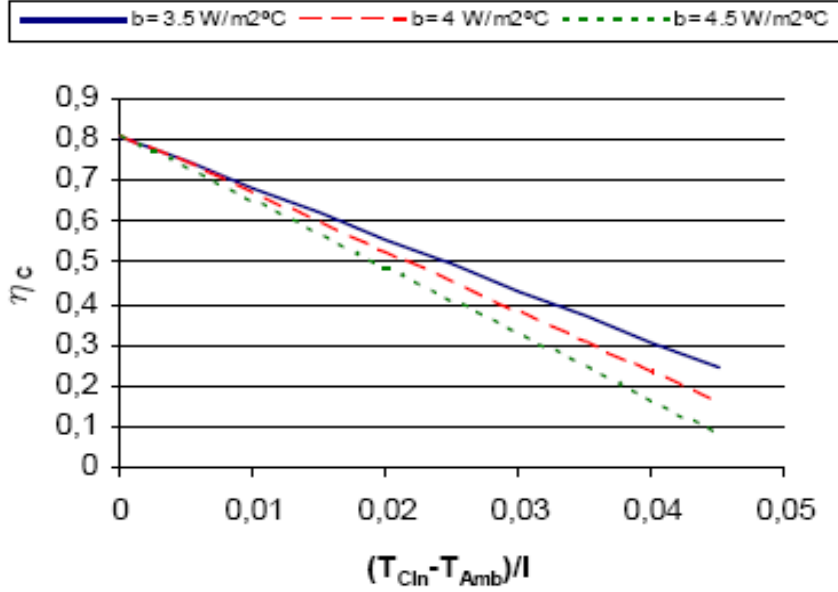
$$f(\%) = 100 \frac{(Q_{Load})_{annual} - (Q_{Aux})_{annual}}{(Q_{Load})_{annual}} \quad (11)$$

### B. بارامترات المحاكاة

تم تنفيذ عمليات المحاكاة على تركيب شمسي يتضمن ثلاثة أنواع مختلفة من اللواقط الشمسية . المعاملات

التي تصف ذلك هي :

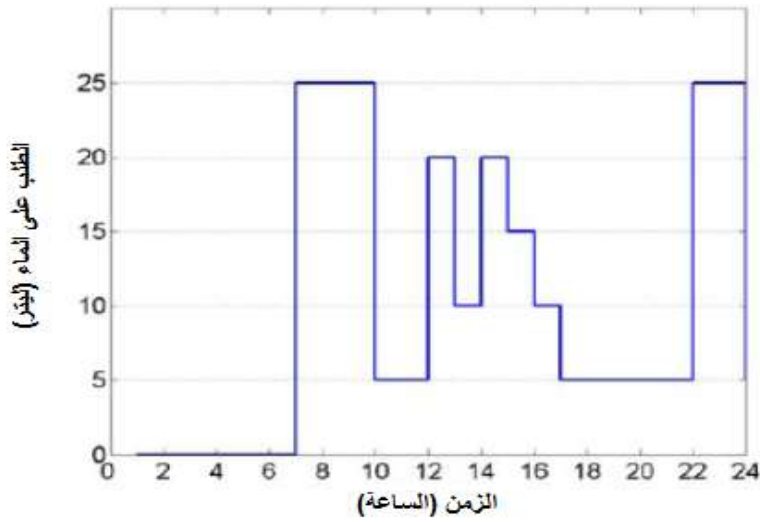
Colector (1): a = 0,81	b = 3,5 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Colector (2): a = 0,81	b = 4 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Colector (3): a = 0,81	b = 4,5 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>



الشكل (2) كفاءة اللواقط

نفذت المحاكاة على مساحات 6 m<sup>2</sup> و 8 m<sup>2</sup> على التوالي، مع استهلاك 240 lit/Day . يمكن أن تُعطى النتائج من خلال هذا البرنامج على أساس يومي أو سنوي . ومن أجل إنجاز عمليات المحاكاة على أساس سنوي ، فإن حجم حوض التخزين يجب أن يكون متراوحاً في المجال (50-300)lit ، و درجة حرارة الماء المطلوبة هي 45 °C . تعتبر درجة حرارة الأنابيب متغيرة كل شهر وتطابق المتوسط الشهري لدرجة حرارة الماء المزود به .

يخضع الحمل الحراري و أيضاً الطلب على الماء الساخن إلى تفاوت كبير من يوم إلى آخر شتاءً ، وهذا الكلام غير دقيق خلال فترة الصيف حيث يكون نمط الاستهلاك عالي نوعاً ما . في كل الأحوال، خلال الصيف لا تكون درجة الحرارة المطلوبة مرتفعة، كما هو الحال في الشتاء . ونتيجة لذلك فإن الطاقة الحرارية الكلية المطلوبة تكون ثابتة على مدار العام . إن ملف الحمل اليومي للاستهلاك يبقى نفسه على مدار أيام السنة . يراعى وجود نوعين من الملفات تستخدم في التحليل وهما : الثابتة و المتغيرة . الشكل(3) يظهر ملف الاستهلاك اليومي المتغير .

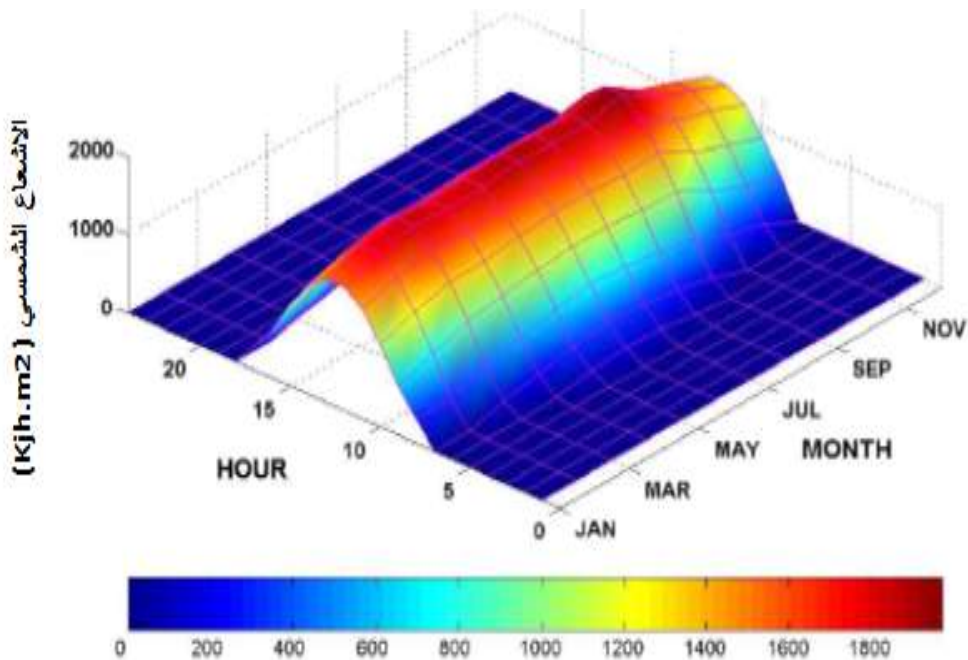


الشكل (3) الشكل المتغير للإستهلاك اليومي لـ DHW

أختبرت عمليات محاكاة قيم الإشعاع الشمسي بشروط مدينة اللاذقية في سورية، وتظهر هذه القيم في الشكل (4).

ويطبق النموذج التالي من أجل حالة درجة الحرارة الساعية للمحيط .

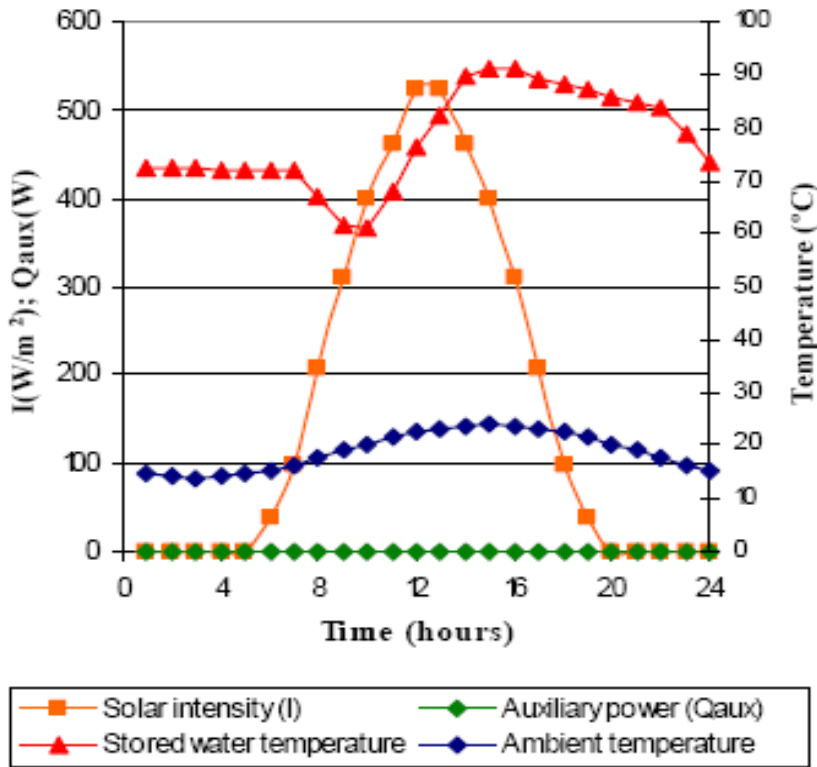
$$(T_{amb})_h = (T_{amb})_{mean} + A \left( \cos \frac{\pi}{12} t - \frac{5\pi}{4} \right) \quad (12)$$



الشكل (4) شدة الإشعاع الشمسي في اللاذقية بسورية

### النتائج والمناقشة:

تظهر نتائج المحاكاة لأسرة تتألف من أربعة أشخاص، في الأشكال من (5) الى (11) . يظهر في الشكلين (5) و (6) على التوالي ملف الاستهلاك المتغير من أجل الأيام النموذجية صيفاً و شتاءً لنظام ذي لاقط شمسي من الحالة (1) : مساحة اللاقط  $8 \text{ m}^2$  ، حجم الخزان 150 lit ، درجة الحرارة المطلوبة ل DHW هي  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  . كما يمكن ملاحظة ارتفاع درجة حرارة حوض التخزين من حوالي  $61 \text{ }^\circ\text{C}$  إلى حوالي  $91 \text{ }^\circ\text{C}$  خلال الأيام النموذجية صيفاً ، حيث تكون القيمة العظمى للسيالة الشمسية خلال اليوم هي حوالي  $525 \text{ W/m}^2$  ، وهنا لا تكون الطاقة المساعدة ضرورية .

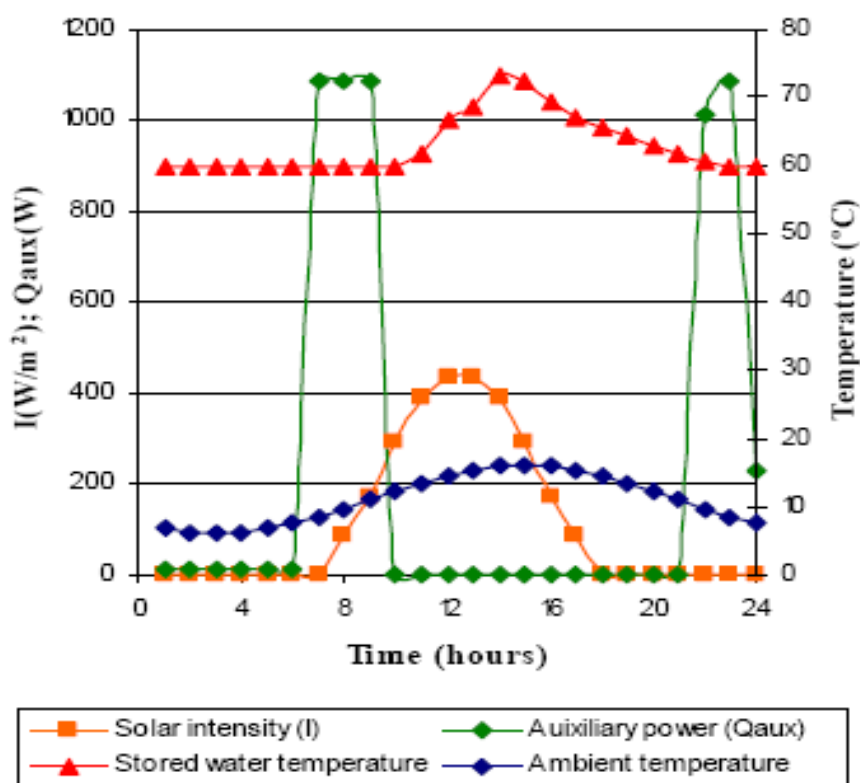


الشكل (5) أداء النظام الشمسي من أجل أحد أيام الصيف النموذجية

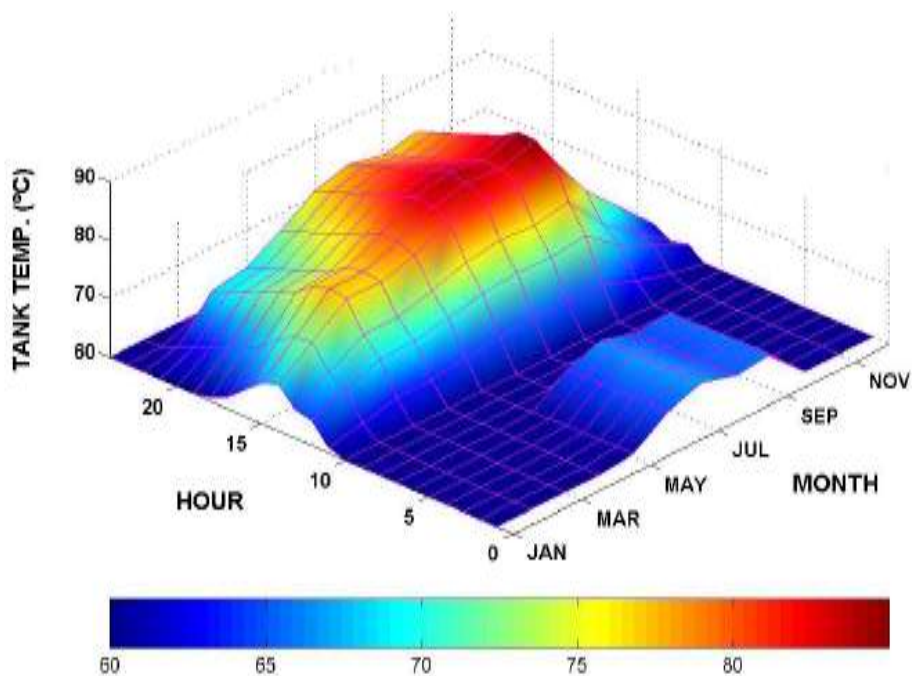
في أيام الشتاء النموذجية ، ترتفع درجة حرارة حوض التخزين من حوالي  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  إلى حوالي  $72 \text{ }^\circ\text{C}$  . أما القيمة العظمى للسيالة الشمسية خلال اليوم فتساوي تقريباً  $435 \text{ W/m}^2$  . وهنا تكون الطاقة المساعدة مطلوبة خلال الساعات من 7 حتى 9 ومن 22 حتى 23 .

تُظهر الأشكال (7,8,9) درجات حرارة الخزان ، الطاقة المساعدة المطلوبة و كفاءة اللاقط على التوالي ، من أجل الحالة (1) مساحة لاقط  $8 \text{ m}^2$  ، وحوض تخزين 150 lit وملف استهلاك متغير .

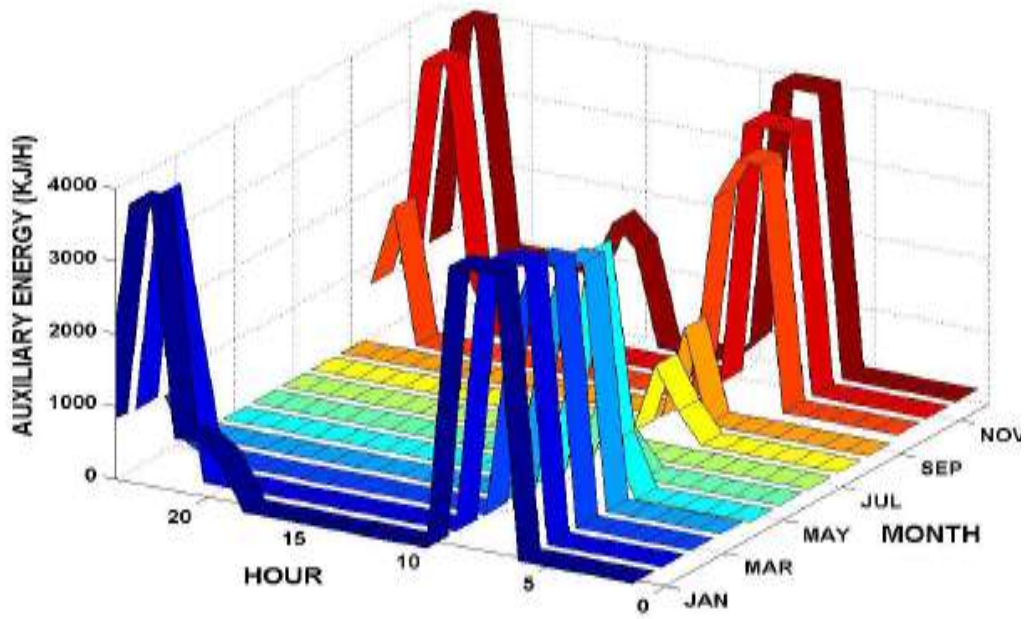




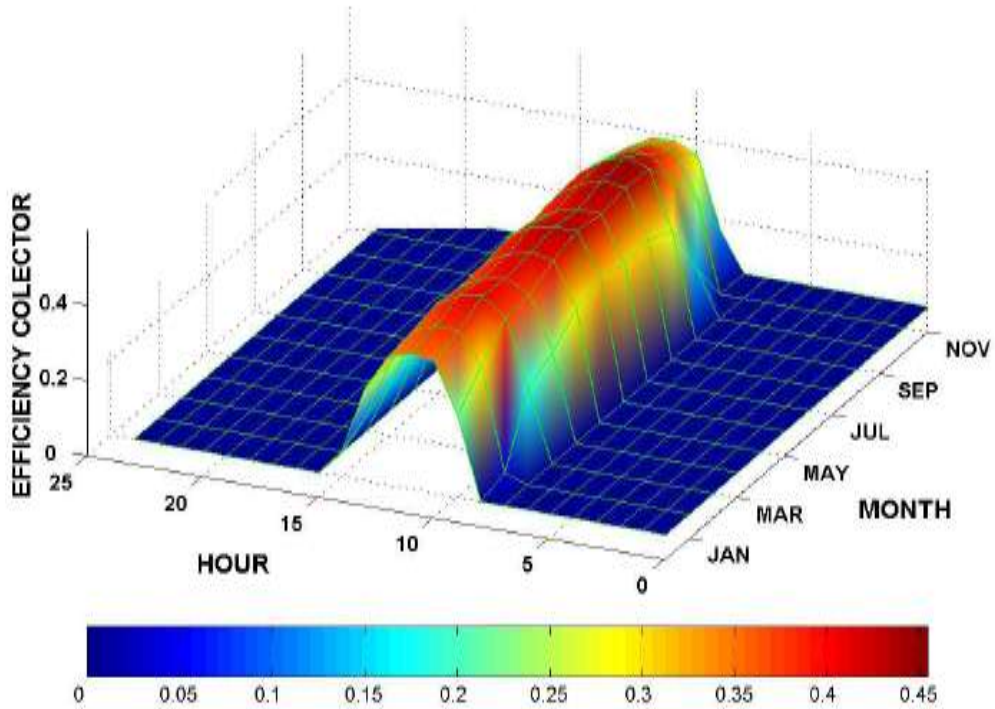
الشكل (6) أداء نظام شمسي من أجل أحد أيام الشتاء النموذجية



الشكل (7) درجات حرارة الخزان . البارامترات : لاقط شمسي ( $8 m^2$ ) ، حوض تخزين (150L)، حالة (1) و ملف استهلاك متغير

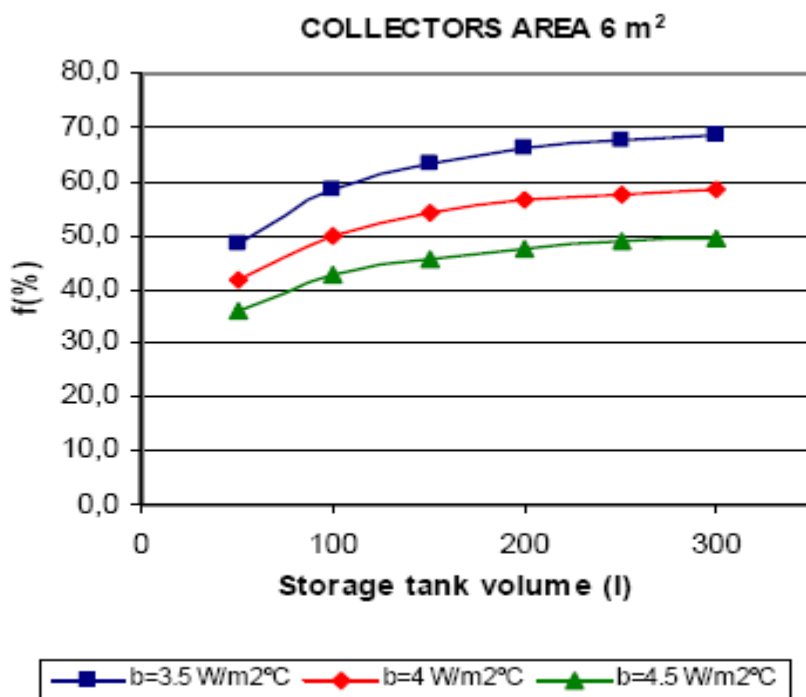


الشكل (8) الطاقة المساعدة . البارامترات ممثلة للشكل (7) .

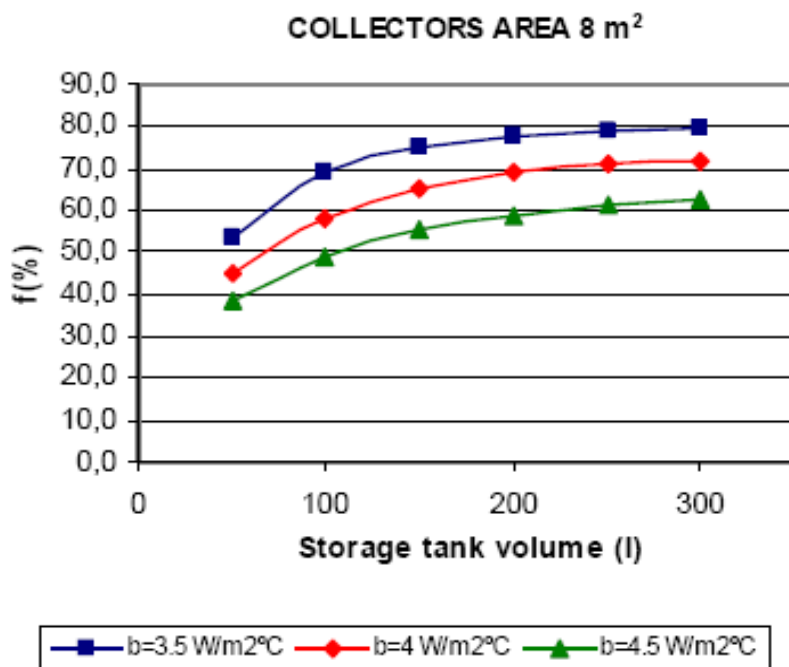


الشكل (9) الكفاءة الساعية للاقط . البارامترات ممثلة للشكل (7) .

تظهر الأشكال (10) و(11) نسبة التغطية الشمسية، كتابع لحجم حوض التخزين من أجل مساحة لاقط من  $6 m^2$  إلى  $8 m^2$  على التوالي .



الشكل (10) نسبة التغطية الشمسية، كتابع لحجم حوض التخزين .مساحة اللاقط  $6 m^2$



الشكل (11) نسبة التغطية الشمسية، كتابع لحجم حوض التخزين .مساحة اللاقط  $8 m^2$

يلاحظ من الشكلين السابقين تأثير حجم حوض التخزين على نسبة التغطية الشمسية . إن نسبة التغطية الشمسية تزداد بزيادة حجم حوض التخزين لكن هذه الزيادة تكون عالية نسبياً من أجل الحجم الصغيرة ومتوسطة من

أجل الحجوم الكبيرة ، وتبقى ثابتة تقريباً من أجل الساعات الأكبر في جميع عمليات المحاكاة اعتماداً على حالة اللاقط المعتبرة .

على الرغم من أن النتائج الواردة في هذا البحث لم تثبت تجريبياً ، إلا أن هذا مأخوذ بالحسبان من قبل الباحثين كما تعتبر صالحة من أجل الأنظمة المشابهة العاملة في سورية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

ويمكن تلخيصها بأهم النقاط التالية:

1. يمكن أن تستخدم نتائج هذا البحث لتصميم نظام مجمع شمسي أمثل ، ومن ثم اختبار عمل هذا النظام المصمم بشكل صحيح .
2. تشير النتائج من أجل عدد من التصاميم ذات أحجام مختلفة لأحواض التخزين إلى أن الأنظمة ذات حجوم أحواض التخزين الكبيرة تنتج نسبة تغطية شمسية أكبر .
3. عندما يكون حجم حوض التخزين كبيراً فإن نسبة التغطية الشمسية تكون أقل تأثراً بتغيرات بارمترات التشغيل الأخرى .
4. يتوجب إنجاز تحليلات اقتصادية إضافية من أجل اختيار النظام ذو حجم حوض التخزين المثالي ، بحيث أنه بالإضافة إلى الكلفة الأولية المطلوبة فإن هذه التحليلات يجب أن تراعي الجدوى الاقتصادية الناتجة عن انخفاض استخدام الوقود أو الكهرباء.
5. يمكن النظر إلى النموذج الموجود كنموذج محاكاة جديد يمكن استخدامه في تحليل بارمترات نظم تسخين المياه المنزلية .
6. يتوجب تنفيذ النظام المصمم عملياً واختباره بقيم فعلية للتأكد من القيم التصميمية النظرية.

### المراجع

1. Mason, Michael. and Mor, Amit. “Enhancing Security through Regional Cooperation” Renewable Energy in the Middle East Published by Springer,2009,P: 257.
2. Comakli O, Bayramoglu M, Kaygusuz K. “A thermodynamic model of a solar assisted heat pump system with energy storage”. Solar Energy 2009, P:492.
3. Shariah AM, Lof GOG. “The optimization of tank-volume to-collector-area ratio for a thermosyphon solar water heater”. Renewable Energy 2006;P:300.
4. Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes. 2nd ed. New York: Wiley, 2001,P:700.
5. Prieto J.I., “Fundamentals Applications of the Energy Solar Terminal”, Oviedo University,1998, P:257.

## المصطلحات المستخدمة في البحث

الرمز	التوصيف	الرمز	التوصيف
$a$	ضياعات اللاقط البصرية	$\dot{Q}_{removal}$	نسبة طاقة الخزان المزالة
$b$	ضياعات اللاقط الحرارية	$S_C$	مساحة السطح الماص للاقط الشمسي
$S_C$	مساحة السطح الماص للاقط الشمسي	$S_T$	مساحة سطح الخزان
$C_p$	الحرارة النوعية	$T_{amb}$	درجة حرارة الوسط الخارجي
$F_R$	عامل كفاءة اللاقط	$T_{amb}'$	درجة حرارة الوسط المحيط بالخزان
$f$	النسبة السنوية للتغطية الشمسية	$T_{cin}$	درجة حرارة الماء عند مدخل اللاقط الشمسي
$M_{Tank}$	كتلة الماء في الخزان	$T_{Cout}$	درجة حرارة الماء عند مخرج اللاقط الشمسي
$\dot{m}$	كتلة الماء العامل- التدفق	$T_{Load}$	درجة الحرارة المطلوبة من DHW
$\dot{m}_{Load}$	كتلة الماء المستهلك - التدفق	$T_{Mwater}$	درجة حرارة أنابيب الماء
$\dot{m}_{Tank}$	كتلة الماء العامل في الخزان - نسبة التدفق	$T_T$	درجة حرارة الخزان
$I$	سيالة الطاقة الشمسية لكل واحدة سطح من الصفيحة الماصة للاقط	$U_C$	معامل ضياع الحرارة الكلي للاقط الشمسي
$P$	كفاءة المبادل الحراري	$U_T$	معامل الضياع الحراري الكلي للخزان
$Q_{Aux}$	الطاقة المساعدة	$V$	حجم حوض التخزين
$\dot{Q}_{Collec}$	طاقة اللاقط المكتسبة (الربح في طاقة اللاقط)	$\alpha$	امتصاصية اللاقط الشمسي
$\dot{Q}_{Load}$	نسبة طاقة الحمل	$\tau$	نفاذية غطاء اللاقط الشمسي
$Q_{loss}$	نسبة ضياع الطاقة في الخزان	DHW	انظمة تسخين الماء المنزلية