مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (5) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (5) 2013

تأثير تطبيق التدفق المنخفض على دارات التدفئة الأرضية العاملة بالطاقة الشمسية

الدكتور حسين تينة*
الدكتور وجيه ناعمة**
هبة المالح***

(تاريخ الإيداع 26 / 5 / 2013. قُبِل للنشر في 1/ 7 / 2013)

∇ ملخّص ∇

إن القلق من تلوث هواء المدن ومن المطر الحامضي وتسرب النفط وارتفاع حرارة الأرض يحث على إعادة البحث عن بدائل الفحم والنفط، وتعد الطاقة الشمسية من أهم البدائل حيث يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية عن طريق استخدام اللواقط الشمسية. ومن أهم التطبيقات الحرارية للطاقة الشمسية استخدامها في التدفئة الأرضية وذلك بسبب انخفاض درجة حرارة المياه الداخلة إلى دارة التدفئة الأرضية حوالي $45\ [C^{\circ}]$ مقارنة مع غيرها من أنواع التدفئة **[8]** .

الفكرة الأساسية من البحث هي معالجة المشاكل التي تواجه تطبيق الطاقة الشمسية على دارة التدفئة الأرضية (ارتفاع التكلفة التأسيسية، الحجم الكبير للخزانات الحرارية، صعوبة التنفيذ...) بالإضافة إلى استهلاك الوقود، فعلى الرغم من استخدام الطاقة الشمسية لغرض التدفئة فإنه لا يمكن الاستغناء الكامل عن المسخنات المساعدة من أجل رفع درجة حرارة المياه في الأيام التي تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي منخفضة.

انطلاقاً مما سبق فإن هذا المشروع يعمل على معالجة هذه المشاكل من خلال تطبيق تقنية التدفق المنخفض على دارة التدفئة الأرضية مما يؤدي إلى تقليل كمية المياه المستخدمة و بالتالي تقليل حجم الخزانات الحرارية وتصغير أقطار أنابيب التوصيل وسهولة التركيب . كما تم استخدام تقنية المزج داخل الصمامات الرباعية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة عوضاً عن تسخين كامل المياه الموجودة داخل الخزان الحراري.

تم إجراء محاكاة للنظام باستخدام برنامج TRNSYS من اجل الحصول على أفضل قيمة للتدفق المنخفض.

الكلمات المفتاحية: دارة التدفئة الأرضية، الخزانات الحرارية، أنظمة التدفق المنخفض.

*أستاذ – قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية.
** أستاذ – قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية.
***طالبة دراسات عليا(دكتوراه) – قسم الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (5) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (5) 2013

The Effect of Applying Low Flow on the Floor Heating Solar System

Dr. Hussen Tine[*]
Dr. Wajih Naimeh[**]
Heba Almaleh[***]

(Received 26 / 5 / 2013. Accepted 1 / 7 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

The concern of air pollution, acid rain and global warming urged to re-examine alternatives of the coal and oil, and most important alternatives is solar energy that can convert solar radiation into thermal energy by using solar collectors. Among the most important thermal applications for solar energy is floor heating because of the low temperature of the water entering the floor heating circuits (about 45 [C°]), compared with other types of heating .The basic idea of the research is to deal with the problems facing floor solar heating systems (high Constituent cost, huge size of the storage tank, difficulty of implementation ...)in addition to fuel consumption. Despite the use of solar energy for the purpose of heating, that does not mean full dispensing for heaters assistance in order to increase the temperature of water in the days which the intensity of solar radiation is low. Based on the above, this research is dealing with these problems through the application of low flow technology on a floor heating circuit that leads to reduce the amount of used water and thus reduce the size of the thermal storage tank, pipes diameters and ease of installation. Technology of mixing the water in four way valves to reach the desired temperature rather than heating the entire water inside the storage tank is also used. The system was simulated by using TRNSYS program to find the optimum low flow.

Keywords: floor heating system, low flow system, stratification tank.

[*]**Professor, General mechanics department, Mechanical and Electrical Engineering Faculty, Damascus University, Damascus , Syria.**
[**]**Professor, General mechanics department, Mechanical and Electrical Engineering Faculty, Damascus University, Damascus , Syria.**
[***]**postgraduate student, General mechanics department, Mechanical and Electrical Engineering Faculty , Damascus University, Damascus , Syria.**

مقدمة:

يعتبر التدفق المنخفض طريقة جديدة يتم تطبيقها في عدة بلدان أوربية من أجل تحسين أداء لواقط الطاقة الشمسية، تعمل هذه الطريقة على تخفيض نسب التدفق في دارة اللاقط الشمسي – الخزان الحراري بمعدل 5–10 مرات بالمقارنة مع الدارة التقليدية أي إن تصبح نسبة التدفق [l/h] 15 لكل مقطع لاقط شمسي عوضاً عن [l/h] 70–50 .**[1]** (WATSON,2002).

يمتلك هذا النظام الجديد – المعروف بالتدفق المنخفض –عدة ميزات بالمقارنة مع النظام التقليدي منها :

تقليص حجم بعض المكونات (الأنابيب –الصمامات– المبادلات)، و أيضا يمكننا من استخدام أنابيب مرنة ذات أقطار صغيرة مصنوعة من مواد صناعية مما يؤدي إلى سهولة التركيب مقارنة مع أنابيب النحاس أو الحديد . مع ذلك، تؤثر نسبة التدفق على فعالية النظام والتي يمكن أن تتدهور إذا تغيرت درجة الحرارة في اللاقط الشمسي أو تم إعاقة المبادل بسبب اللزوجة المنخفضة . من ناحية أخرى، يمكن تحسين فعالية النظام عن طريق الأخذ بعين الاعتبار نسبة التدفق المنخفض والتي تؤدي إلى تطبق جيد في الخزان و تسمح بتزويد اللاقط بالسائل الأبرد، مما يؤدي إلى تقليص الضياع الخارجي والأداء العالي. **[7]**

يمكن وصف هذا النظام الجديد بأنه الطريقة المستقبلية من أجل تحسين اللاقط الشمسي من حيث الأداء والكلفة.

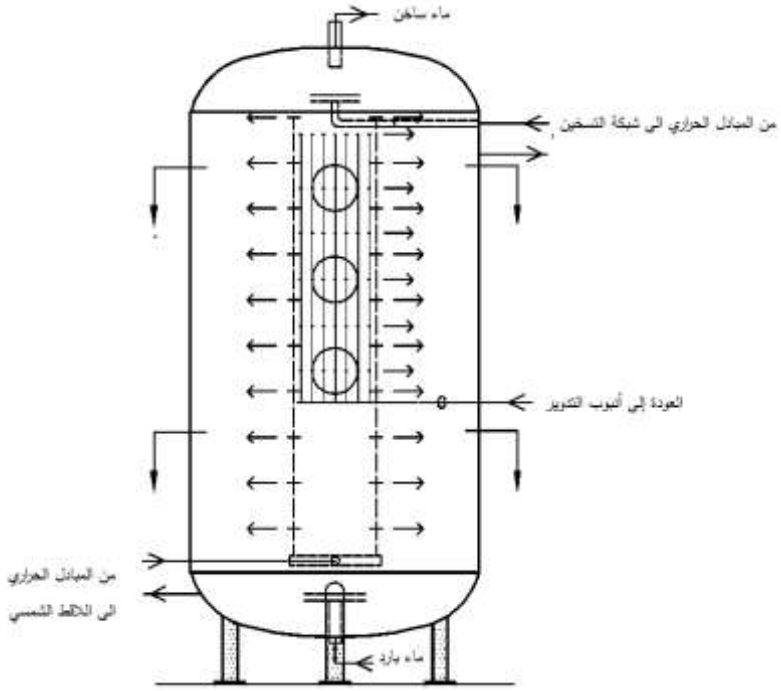
أهمية البحث وأهدافه:

- معالجة المشاكل التي تواجه تطبيق الطاقة الشمسية على دارة التدفئة الأرضية (ارتفاع التكلفة التأسيسية، الحجم الكبير للخزانات الحرارية، صعوبة التنفيذ...).
- التقليل من استهلاك الوقود،حيث أن استخدام الطاقة الشمسية لغرض التدفئة لا يعني الاستغناء الكامل عن المسخنات المساعدة من أجل رفع درجة حرارة المياه في الأيام التي تكون فيها شدة الإشعاع الشمسي منخفضة.
- الجديد في البحث هو تطبيق التدفق المنخفض على الماء الداخل من الخزان الحراري إلى دارة التدفئة الأرضية و ليس على الماء الخارج من اللاقط الشمسي والداخل إلى الخزان الحراري ، بالإضافة إلى تطبيق فكرة المزج داخل الصمامات الرباعية من أجل وصول الماء الداخل إلى دارة التدفئة الأرضية للحرارة المطلوبة .

دراسة مرجعية عن التدفق المنخفض :

1–الأداء الحراري لنظام ضخم للتسخين الشمسي بتدفق منخفض مع خزان تطبق حراري عالي: [2]

قام كل من الباحثين سيمون فوربو، لويس يفان شاه ، نيلس كريستيان فيجن (قسم الهندسة المدنية – جامعة الدنمارك التقنية)في العام 2000 ببناء نظام تسخين مياه منزلي شمسي بمساحة 336m2 في سوندباركين– السينور– الدنمارك .وهو نظام بتدفق منخفض مع خزان مياه ساخنة بسعة [l]10000 . و بسبب توجيه المباني تم توجيه نصف اللواقط الشمسية نحو الشرق والنصف الآخر للغرب. وكان ميلان اللواقط 15 درجة باتجاه الأفق. كانت جميع اللواقط تحتوي على مضخة توزيع ومبادل حراري خارجي ونظام تحكم . بالنسبة للمبادلات الحرارية الخارجية تستخدم لنقل الحرارة من سائل اللاقط الشمسي إلى المياه المنزلية . والمياه المنزلية يتم ضخها من أسفل خزان المياه الساخنة إلى المبادل الحراري ثم تعود إلى خزان المياه الساخنة عبر أنبوب إدخال كما هو موضح في الشكل (1)مما يؤدي إلى تطبق حراري ممتاز في الخزان.



الشكل (1) خزان حراري ذو طبقات

تم تركيب نظام التسخين الشمسي في أيار 2000 وكان الأداء الحراري لنظام التسخين الشمسي في العامين الأوليين للتشغيل مقارنة مع أنظمة المياه الشمسية المنزلية الدنمركية الأخرى جيداً رغم حقيقة أن اللواقط الشمسية بعيدة عن كونها موجهة بشكل مثالي ، والاستفادة من الإشعاع الشمسي على اللواقط أعلى بنسبة 46% في العام الثاني للتشغيل بالمقارنة مع أي نظام آخر تم تركيبه سابقاً في الدنمرك 16-34% . السبب في الأداء الحراري الجيد والاستفادة الممتازة من الإشعاع الشمسي هو استهلاك المياه الساخنة العالي والتصميم الجيد للنظام للاستفادة من المبادلات الحرارية الخارجية.

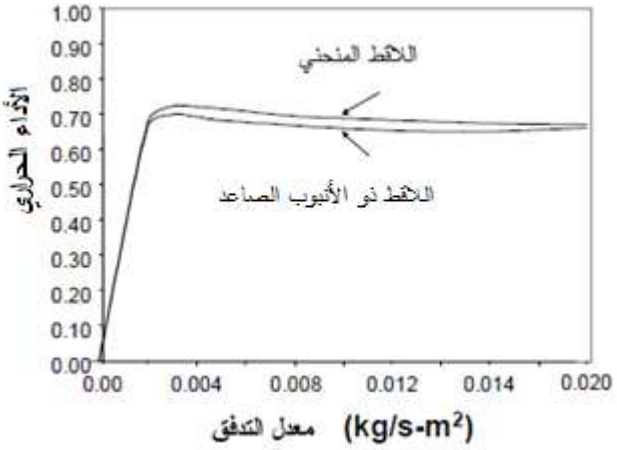
بدأت القياسات بعد فترة قصيرة من تركيب النظام وكانت الطاقة الشمسية المفيدة الصافية المقاسة في أغلب الأشهر هي نوعاً ما أعلى من المحولة لخزان المياه الساخنة بسبب وجود فاقد حراري سلبي من الخزان ناتج عن درجات الحرارة المنخفضة جداً في أسفل الخزان وبسبب عدم دقة قياسات الطاقة .

في العامين الأوليين للتشغيل كان الإشعاع الشمسي الأفقي كان أقل بحوالي 6% وهو نفسه الإشعاع الشمسي الأفقي في مرجع التصميم الدنمركي. لوحظت مشكلة وحيدة وهي تأخر الإقلاع صباحاً لمضخات التوزيع في حلقتين لاثنين من اللواقط الشمسية ، لأنه وبشكل خاطئ تم تركيب حساسات الحرارة لأنظمة المراقبة خارج أنابيب الوصل للواقط وبعد 10 أشهر من التشغيل تم تغيير الحساسات لداخل اللواقط . وبعد هذا التغيير عمل النظام بدون أي مشاكل. بالمقارنة مع أنظمة التسخين الشمسية الدنمركية الأخرى الضخمة فإن النظام المدروس كان يعمل بشكل جيد ، و كانت الاستفادة من الإشعاع الشمسي على لواقط النظام المدروس أعلى من أي أنظمة أخرى تم دراستها . والسبب في الأداء الحراري الجيد و الاستفادة الممتازة من الإشعاع الشمسي هو الاستهلاك العالي للمياه الحارة والتصميم الجيد للنظام. وبناء على الدراسات ينصح في المستقبل تصميم أنظمة تسخين شمسية ضخمة وبتدفق منخفض مع خزانات متعددة الطبقات و مبادلات حرارية.

2-تحليل اللواقط المنحنية في الأنظمة ذات التدفق المنخفض : [3]

قام كل من ميرنا دايان، سانفورد كلين، ويليام بيكام من مخبر الطاقات المتجددة (جامعة ويسكنسون –ماديسون) من الولايات المتحدة الأميركية بدراسة النماذج التحليلية لتحديد التغيرات في الأداء الحراري للواقط المنحنية تبعاً للتدفق المنخفض والعدد الكبير لمنحنيات الأنابيب.

فاللاقط المنحني لديه إمكانية الأداء الأفضل من اللاقط التقليدي بأنبوب صاعد في الأنظمة ذات التدفق المنخفض بسبب البداية المبكرة للتدفق المضطرب والذي يعزز معامل النقل الحراري الداخلي . إن بداية التدفق المضطرب تتعلق بقطر الأنبوب ونسبة التدفق فيه. يوضح الشكل (2) التغير في الأداء الحراري لكل من اللواقط المنحنية واللواقط ذات الأنبوب الصاعد تبعاً لتغير التدفق.



الشكل (2) الأداء الحراري لكل من اللاقط المنحني و اللاقط ذو الأنبوب الصاعد تبعاً للتدفق

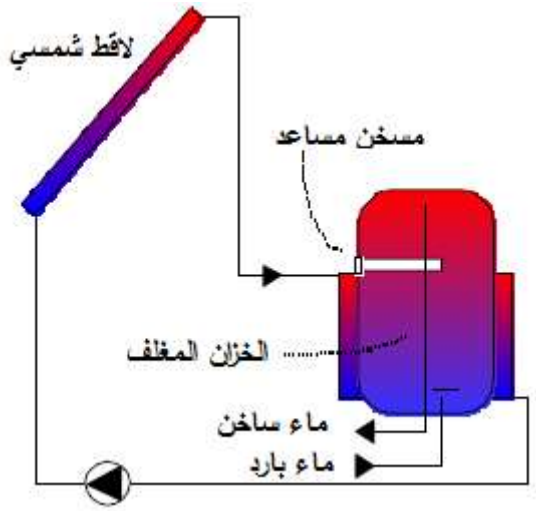
واستنتجوا بأن اللواقط المنحنية تعمل بشكل أفضل بقليل من اللواقط ذات الأنبوب الصاعد والتي لها نفس المساحة وقطر الأنبوب وبنسبة تدفق منخفض وذلك بسبب البداية المبكرة للتدفق المضطرب الذي يعزز معامل النقل الحراري الداخلي .

3- تحقيقات عن أنظمة المياه الساخنة للاستخدام المنزلي منخفضة التدفق ذات مضخات و دارات لاقط شمسي مختلفة:

أجرى العالمان سايمون فوربو و جيانهوا فان من معهد الهندسة المدنية في انكلترا اختبارات على نظامي تسخين مياه منزلية بالطاقة الشمسية SDHW منخفضي التدفق على أساس الخزانات المغلفة. والنظامان متشابهان ماعدا مضخات التوزيع ، تمت الاختبارات بنفس الاستهلاك اليومي للمياه الساخنة بمقدار [l/day]100، كما أجريت القياسات بالنسبة للأداء الحراري للأنظمة وحجم نسب التدفق في حلقات اللاقط الشمسي واستهلاك المضخات للطاقة لفترة حوالي 4 أشهر وأظهرت النتائج مايلي:

1. يزداد الأداء الحراري السنوي بمقدار 10-25 % تبعاً للإشعاع الشمسي .
2. الرواسب الكلسية في الخزانات المغلفة أخفض بمقدار مرتين ونصف من الخزانات المشابهة ذات مبادل حراري حلزوني .
3. يمكن استخدام أنابيب بأبعاد صغيرة في دارة اللاقط الشمسي و بالتالي يكون التركيب أسهل .

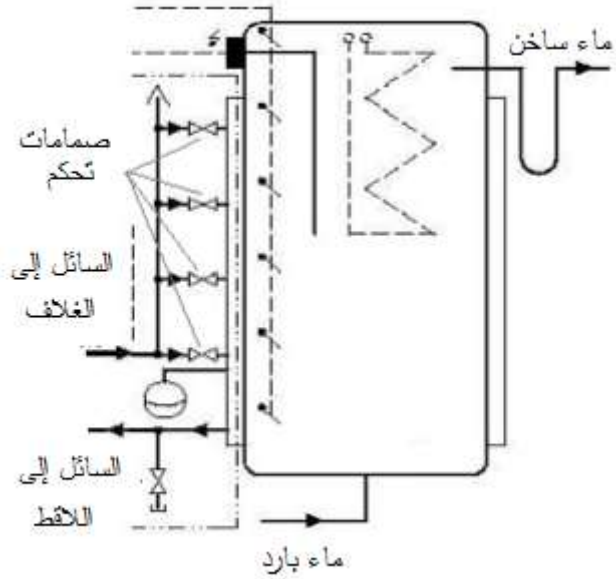
4.عند استخدام الأنابيب الصغيرة في دارة اللاقط الشمسي يمكن تقليص الهدر الحراري للأنابيب ويمكن زيادة الأداء الحراري للنظام. الشكل (3) يوضح آلية عمل خزان مغلف موصول مع لاقط شمسي .



الشكل (3) مخطط لنظام SDHW يعتمد على فكرة الخزان المغلف

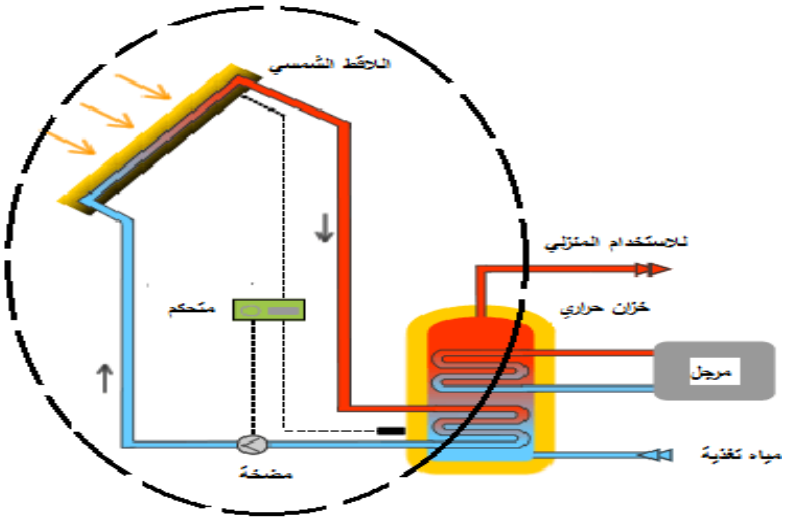
4-نموذج نظام المياه الساخنة الشمسي المنزلي بتدفق منخفض:

قام كل من الباحثين لانا كنجو، دومينيك كاسافيل، كريستيان ايناردو وسوفيا انتيبيوليس من معهد علوم التكنولوجيا في فرنسا بإجراء دراسة عددية واختباريه لخزان حراري شمسي ذي غلاف (mantle tank) ذي تدفق منخفض من [l/h] 7 إلى [l/h] 15 . في البداية تمت دراسة تأثير حقن السائل في مستويين مختلفين في الخزان ثم تم دراسة تأثير تغير تدفق المياه الداخلة إلى الخزان. بعد إجراء التجارب تبين أن تطبيق التدفق المنخفض على الخزان أدى إلى زيادة في المزج و تحسن النتائج بشكل أفضل. الشكل (4) يوضح آلية عمل الخزان ذي الغلاف وكيفية دخول وخروج السائل منه .



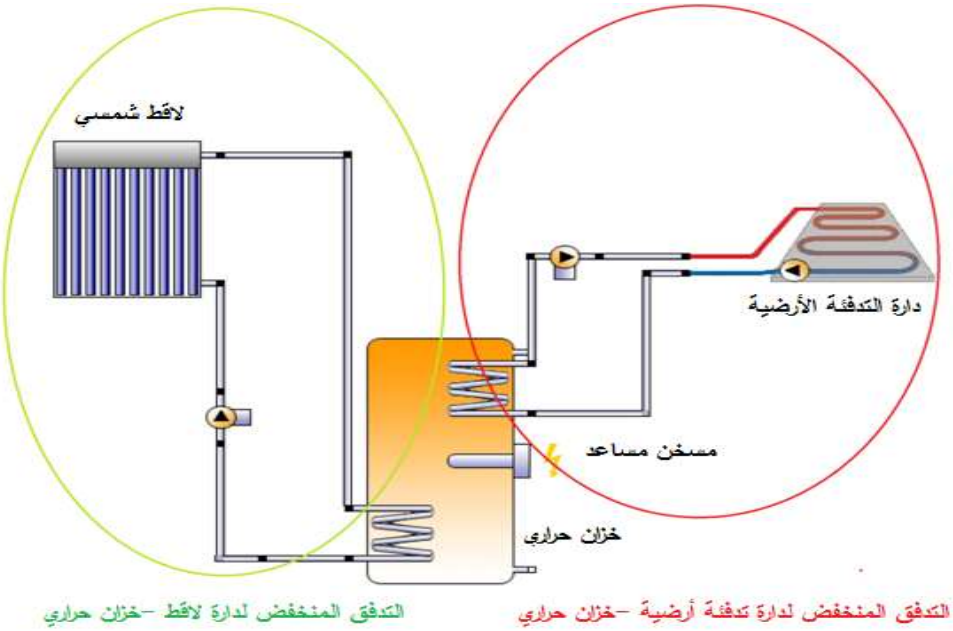
الشكل (4) النتائج الحاصلة للحالة المطابقة لمجموع تشكيلين (حقن السائل في مستويين مختلفين في الخزان)

يوضح الشكل (5) كيفية تطبيق التدفق المنخفض على المياه الخارجة من اللاقط الشمسي و الداخلة إلى الخزان الحراري ،بينما في هذا البحث تم تطبيق التدفق المنخفض على المياه الخارجة من الخزان الحراري والداخلة إلى دارة التدفئة الأرضية كما يظهر في الشكل (6) الذي يوضح الفرق بين الأبحاث السابقة وهذا البحث.



الشكل (5) تطبيق التدفق المنخفض على دارة خزان حراري–لاقط شمسي

لذلك تم التفكير بربط التدفق المنخفض مع دارة التدفئة الأرضية من أجل تحسين أدائها وخفض تكاليفها.



الشكل (6) الفرق بين تطبيق التدفق المنخفض على دارة التدفئة الأرضية و على الاقط الشمسي

طرائق البحث ومواده :

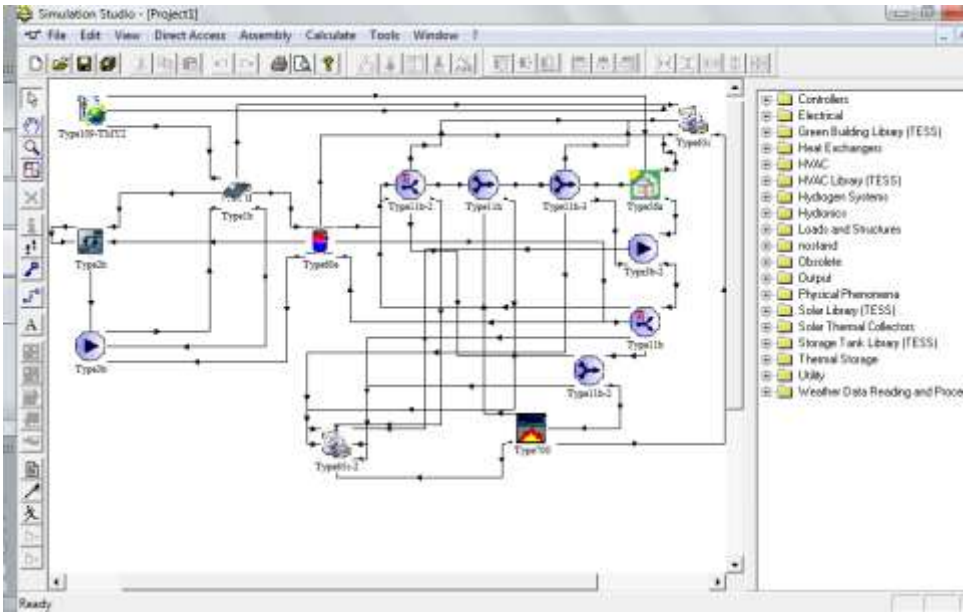
تم تنفيذ المشروع في مخبر الطاقات المتجددة في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق، حيث نفذت دارة التدفئة الأرضية في الغرفة المخصصة للمهندسين في المخبر أجريت الدراسة على مرحلتين، في المرحلة الأولى أخذت النتائج على الدارة عند تطبيق تدفق عادي [l/h] 90 وكانت هذه المرحلة في شتاء 2011– 2012(من 15 تشرين الثاني لغاية 15 نيسان)، أما المرحلة الثانية فتم فيها تطبيق التدفق المنخفض في شتاء 2012– 2013 و خلال نفس الفترة السابقة.

محاكاة النظام عن طريق استخدام برمجيات TRNSYS:

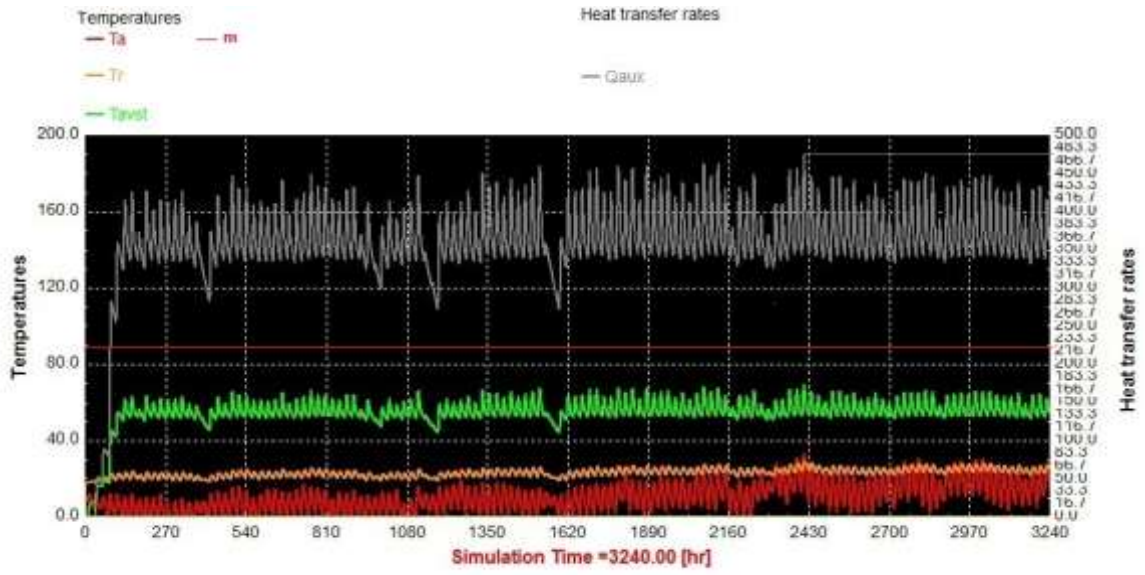
TRNSYS هي اختصار للجملة التالية TRaNsient SYstem Simulations وهو برنامج يمتاز بأنه:**[9]**

- يعمل على حل المعادلات التفاضلية والجبرية.
- يحتوي مكتبة بأنظمة الطاقة الحرارية المستخدمة.
- يمكن من إضافة الوحدات التي يستخدمها المبرمج.
- صُمم خصيصاً لمحاكاة الأنظمة المتغيرة.
- يقدم إمكانية إدخال شروط المناخ والتوابع المتعلقة بالزمن.

يوضح الشكل (7) واجهة البرنامج كما تظهر على شاشة الحاسوب ، كما يبين الشكل(8) المخططات الناتجة عن المحاكاة والتي تظهر تغير درجات الحرارة مع الزمن.



الشكل (7) واجهة المحاكاة باستخدام برنامج TRNSYS



الشكل (8)نتائج المحاكاة باستخدام TRNSYS

النتائج والمناقشة:

لوحظ عند إجراء المحاكاة بأن تخفيض التدفق إلى [l/h] 90 أدى إلى انخفاض الطاقة المقدمة من المسخن المساعد، بالتالي انخفاض استهلاك الوقود استمر هذا الانخفاض إلى أن أصبحت قيمة التدفق [l/h] 45 حيث عادت الطاقة المقدمة من المسخن المساعد إلى الارتفاع مرة أخرى كما هو مبين في الجدول (1) :

الجدول(1) تغير الطاقة المقدمة من المسخن المساعد تبعاً لتغير التدفق كما أظهرته نتائج المحاكاة

40	45	50	60	70	80	90	ṁ[l/h]
258	250	205	214	225	240	466	Qaux[W]

انطلاقاً من العلاقة **[4]** (Simon,2010):

$$Q = m.Cp.\Delta T \qquad \textbf{(1)}$$

حيث أن Q=1061.4 [W] الحمل الحراري للمكان المدروس و قيمته ثابتة لا تتغير يجب تحقيقها دائما من أجل وصول درجة حرارة المكان المدروس للقيمة المطلوبة.

$$\Delta T = \frac{Q}{m.Cp} = \frac{1061.4}{0.025\times4180} = 10.15[C^{\circ}]$$

تم عزل ΔT فرق درجة الحرارة على طرفي دارة التدفئة الأرضية ، و بما أنه تم اعتبار درجة حرارة دخول المياه إلى دارة التدفئة الأرضية T1=45 [C°] نستنتج قيمة درجة حرارة خروج الماء من دارة التدفئة الأرضية T2. **[6]**

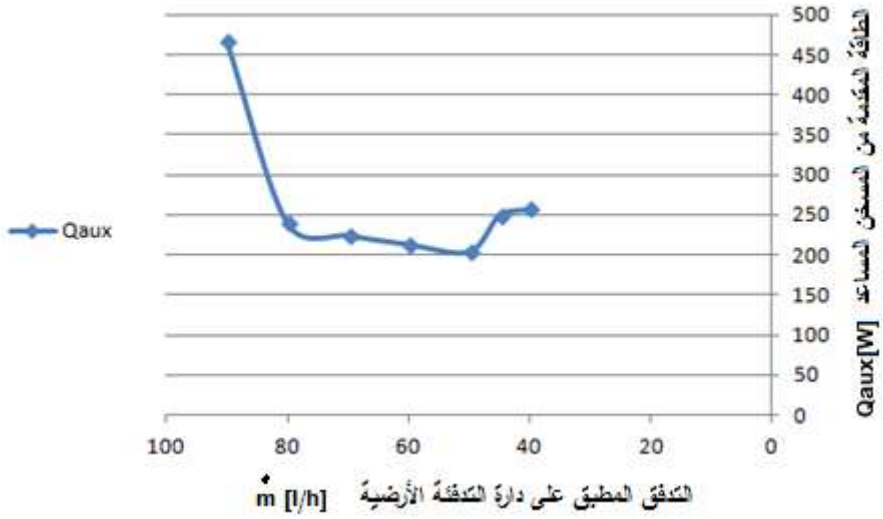
$$\Delta T = T1 - T2 \Longrightarrow \qquad T2 = T1 - \Delta T = 45 - 10.15 = 34.84[C^{\circ}] \qquad \textbf{(2)}$$

و بتطبيق المعادلات السابقة عند كل قيمة من قيم التدفق نحصل على درجة حرارة خروج الماء من الدارة الموافقة للتدفق المطبق. الجدول (2) يبين تغير قيمة $T2$ عند تغير التدفق .

الجدول (2) تأثير تغير تخفيض التدفق على درجة حرارة خروج المياه من دارة التدفئة الأرضية

T2[C°]	$\dot{m}$ [kg/s]	$\dot{m}$ [l/h]
34.8430622	0.025	90
33.573445	0.022222	80
31.94108	0.019444	70
29.7645933	0.016667	60
26.717512	0.013889	50
24.6861244	0.0125	45
22.14689	0.011111	40
18.8821599	0.009722	35
14.5291866	0.008333	30

نلاحظ من الجدول (2) أنه عندما يصبح التدفق [l/h] 45 فإن درجة حرارة خروج المياه من الدارة تنخفض إلى **[C°]** 25 وبالتالي تصبح الحرارة المقدمة إلى الغرفة أقل من حرارة الغرفة أي تصبح المياه أبرد من الغرفة أي تعكس الدارة لذلك تزداد الطاقة المقدمة من المسخن المساعد. إذاً لا يجوز تخفيض التدفق أقل من قيمة **[l/h]** 50 . يبين الشكل (9) تغير الطاقة المقدمة من المسخن المساعد تبعاً لتغير التدفق المطبق .



الشكل (9) مخطط تغير الطاقة المقدمة من المسخن المساعد تبعاً لتغير التدفق

حجم الخزان الحراري :

و باعتبار أن الغرفة التي يتم إجراء البحث عليها هي غرفة مخبر يتم العمل فيها ابتداء من الساعة الثامنة صباحاً و حتى الساعة السادسة مساءً و باعتبار أن شدة الإشعاع الشمسي شتاء تنخفض من حوالي الساعة الواحدة ظهراً فإن عدد ساعات التخزين المطلوبة 5 ساعات .

حجم الخزان الحراري =عدد ساعات التخزين×التدفق المطبق

Vb = 5 x 90 = 450 [l]

و بما أن أحجام الخزانات الحرارية لشركة visseman تأتي وفق مقاييس ثابتة فإن أقرب حجم للخزان المطلوب هو [l]500 ، ولكن بعد تخفيض التدفق لقيمة**[l/h]** 50 يصبح حجم الخزان الحراري :

Va = 5 x 50 =250 [L]

و أقرب حجم للخزان المطلوب هو [L]300 وفقاً للشركة الصانعة.

4.آلية عمل النظام المنفذ :

يتكون النظام المنفذ الشكل (10) بشكل أساسي من :

دارة تدفئة أرضية – لاقط شمسي – خزان حراري مسخن مساعد(مرجل) بالإضافة إلى المتممات (الحساسات – المضخات–الصمامات ....)

الشكل (10) النظام المنفذ

إن فكرة التدفئة الأرضية العاملة بالطاقة الشمسية ليست بالفكرة الجديدة ولكن الجديد في هذا النظام أنه تم تطبيق التدفق المنخفض على دارة (التدفئة الأرضية –خزان حراري)، بالإضافة إلى مزج المياه داخل الصمامات V1,V2 و هذا ما سيتم شرحه لاحقاً . كما تم تزويد النظام بـ 10 حساسات حرارية موصولة مع دارة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة (Programmable Logic controller–plc).

دارة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة(PLC) :

جهاز التحكم المنطقي المبرمج (PLC)، هو جهاز الكتروني تتكون بنيته الأساسية من معالج صغير (Microprocessor) يستخدم في التحكم الصناعي، و يمتاز بسهولة التركيب والبرمجة، ومقاومته للظروف المحيطة (أبخرة، حرارة، اهتزاز، تشويش خارجي...)و يتضمن(PLC) وحدات دخل وخرج. توصل على وحدات الدخل كل من الحساسات والمفاتيح ذات الأنواع المختلفة مثل المفاتيح ، الأزرار الانضغاطية (Toggle Switches)، بينما توصل على وحدات الخرج المشغلات (actuators) مثل المؤشرات، الحواكم (Relays)، الكونتاكتورات والصمامات الهوائية (Solenoid Valves). **[5] (Lana,2003)**.

يتم تشغيل الـ PLC بعد أن يتم تحميله في ذاكرة وحدة المعالجة ببرنامج يصف طبيعة العملية التكنولوجية المطلوبة ليقوم بتنفيذها بشكل آلي تتابعي.

تمثل الـ (PLC) قلب نظام التحكم، وعندما يوضع برنامج التطبيق التحكمي المخزن في ذاكرة الـ (PLC) موضع التنفيذ، فإن الـ (PLC) تراقب باستمرار حالة النظام من خلال إشارة التغذية العكسية من وحدات الدخل الحلقية، وعندها ستحدد بناءً على منطق البرنامج ما يجب فعله وتنفيذه على وحدات الخرج الحلقية،بالتالي تتلخص وظيفة الـ (PLC) بالتحكم في الآلات والعمليات حيث يقوم بمراقبة المداخل ومن ثم اتخاذ القرارات بناء على التوجيهات المعطاة له وبعد ذلك تنفيذ تلك القرارات .

تم تركيب حساسين على كل من مداخل ومخارج اللاقط الشمسي، و مداخل ومخارج المرجل، ومداخل ومخارج الخزان الحراري. كما تم تركيب حساس في الغرفة وآخر في الخارج من أجل قياس درجة حرارة الوسط الخارجي. و ركب حساس على مدخل دارة التدفئة الأرضية و آخر بعد صمام المزج الرباعي V1.

يوضح الشكل (11) لوحة التحكم بما فيها من قواطع و توصيلات و جهاز التحكم المنطقي (PLC).

الشكل(11) لوحة التحكم الكهربائية

يعمل النظام وفق ثلاث حالات رئيسية:

الحالة الأولى:

عندما تكون Tc>45[C°] (درجة حرارة المياه الخارجة من الأسطوانة أكبر من درجة الحرارة المطلوبة للتدفئة) عندها نحتاج إلى تخفيض درجة حرارة هذه المياه فيفتح صمام المزج V1 من أجل أن يمزج المياه الخارجة من الأسطوانة مع المياه العائدة من التدفئة الأرضية ليخفض حرارتها حتى تصبح [C°] 45، ويغلق الصمام V2 من أجل إيقاف حركة المياه الساخنة الخارجة من المرجل . بينما تتابع المياه سيرها إلى دارة التدفئة الأرضية .

الحالة الثانية:

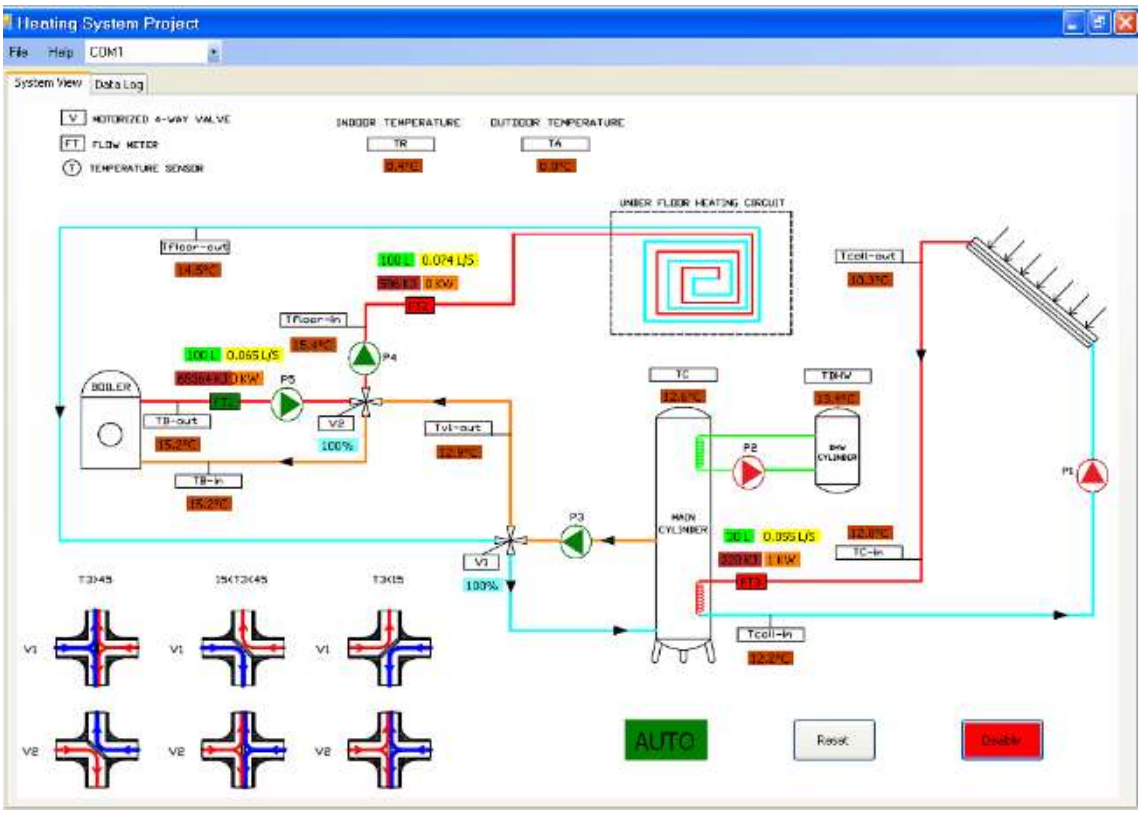
عندما تكون [C°]45 C° >Tc>15 (درجة حرارة المياه الخارجة من الأسطوانة أصغر من درجة الحرارة المطلوبة للتدفئة و أكبر من درجة حرارة مياه التغذية) عندها يغلق الصمام V1 و تتابع المياه سيرها إلى الصمام V2 الذي يفتح من أجل مزج المياه الخارجة من المرجل مع المياه القادمة من الخزان الحراري و يرفع درجة حرارتها لتصبح 45[C°] و هي الحرارة المطلوبة من أجل تحقيق حمل التدفئة.

الحالة الثالثة:

عندما تكون Tc> [C°] 15 (درجة حرارة المياه الخارجة من الخزان الحراري أصغر من درجة حرارة مياه التغذية) (تحدث هذه الحالة عندما تكون شدة الإشعاع الشمسي ضعيفة غير كافية لرفع درجة حرارة المياه إلى درجة الحرارة المطلوبة) عندها يصبح من غير المجدي استخدام المياه القادمة من الطاقة الشمسية . في هذه الحالة ،يغلق الصمام V1 حتى يمنع المياه الخارجة من الخزان الحراري من التوجه إلى دارة التدفئة الأرضية أي يلغى عمل النظام الشمسي و تصبح الدارة مؤلفة من مرجل وتدفئة أرضية فقط .

نلاحظ في الحالتين الأولى والثانية، أنه عندما يتم مزج المياه الباردة مع الساخنة داخل الصمامات V1,V2 من أجل الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة فإنه يتم تحقيق توفير في الطاقة المستهلكة من قبل المسخن المساعد عوضاً عن تسخين كامل المياه الموجودة في الخزان الحراري .

يبين الشكل (12) الواجهة التي تظهر على شاشة الحاسوب عند تشغيل دارة الـ (PLC) حيث تظهر عليها قراءات مقاييس التدفق وحساسات الحرارة الموصولة مع الدارة .



الشكل(12) رسم تخطيطي للنظام المنفذ

الاستنتاجات والتوصيات:

- إن تخفيض التدفق أدى إلى تقليل حجم الخزان الحراري من [l] 500 إلى [l] 300 وبالتالي تخفيض في الكلفة التأسيسية.
- تخفيض التدفق أدى إلى انخفاض الطاقة المقدمة من المسخن من[W] 466 إلى[W] 205 .
- إن تخفيض التدفق أقل من **[l/h]** 50 يؤدي زيادة الطاقة المقدمة من المسخن المساعد لتصبح [W] 250 والسبب في ذلك هو أنه عند تخفيض التدفق لقيمة أقل من **[l/h]** 50 تنخفض درجة حرارة المياه الخارجة من دارة التدفئة الأرضية لتصبح أخفض من درجة حرارة الغرفة أي تصبح درجة حرارة المياه الموجودة في الأنابيب أقل من درجة حرارة الغرفة وبالتالي فإن هواء الغرفة سوف يبرد لذلك تزداد الطاقة المقدمة من المسخن المساعد من أجل زيادة درجة حرارة الغرفة .
- تم في هذا البحث عرض نتائج المحاكاة و الدراسة النظرية فقط ولم يتم عرض النتائج العملية و التطبيقية للدراسة لأنها لم تنتهِ بعد على أمل نشر هذه النتائج في بحث لاحق.
- البحث وكما ذكر سابقاً تم إجراؤه على دارة تدفئة أرضية موجودة في مخبر أي ساعات عمل الدارة معظمها يكون في النهار لذلك فإن حجم الخزان الحراري كان صغيراً ، أما بالنسبة لحالات العمل الأخرى في المنازل والفنادق مثلاً والتي يكون فيها عدد ساعات العمل أكبر فإن عدد ساعات التخزين يكون أكبر وبالتالي فإن حجم الخزان الحراري سوف يزداد ومن الممكن أن يكون هنالك حاجة لاستعمال أكثر من خزان حراري مما يؤثر على الكلفة التأسيسية للنظام وسنوات الاسترداد .

أخيراً فإنه من الضروري زيادة الوعي لدى المواطنين عن أهمية الطاقة الشمسية بيئياً و مدى التوفير المادي الناتج عن استعمالها، بالإضافة إلى ذلك يجب خفض أسعار تجهيزات الطاقة الشمسية من خلال تخفيض الرسوم الجمركية والضرائب المفروضة عليها ،كما يمكن تقسيط كافة تجهيزات الطاقة الشمسية (خزان حراري – ترموستات تفاضلي ....) وليس اللواقط فقط .

فترة الاسترداد الطويلة نسبياً لهذه الاستخدامات يضمحل تأثيرها كثيراً إذا ما نظرنا إلى العمر الطويل لهذه المنشآت والذي يتجاوز العشرين عاماً أي ما يساوي تقريباً ضعف فترة الاسترداد وهذا الأمر من الوجهة الاقتصادية أمر يستحق الاهتمام.

الجدول (3) يوضح الرموز و الواحدات المستخدمة في البحث

الجدول (3) المصطلحات

$\dot{m}$ [l/h]	التدفق المطبق على دارة التدفئة الأرضية
Qaux[W]	الطاقة المقدمة من المسخن المساعد(المرجل)
Q[W]	الحمل الحراري المطلوب [W]1061.4
C[kj/kg.C°]	السعة الحرارية للماء [kj/kg.C°]4.18
T1[C°]	درجة حرارة المياه الداخلة إلى دارة التدفئة الأرضية وتساوي[C°] 45
T2[C°]	درجة حرارة المياه الخارجة من دارة التدفئة الأرضية
Tc[C°]	درجة حرارة المياه الخارجة من الخزان الحراري
Vb	حجم الخزان الحراري قبل تخفيض التدفق
Va	حجم الخزان الحراري بعد تخفيض التدفق

المراجع:

[1] WATSON, R.D. Radiant heating and cooling. 9780070684997, Mc.Graw Hill, USA, 2002, 657.

[2] SIMON, F; NIELS,K.Y; LOUIES,J.S. Thermal Performance of a Large Low Flow Solar Heating System With a Highly Thermally Stratified Tank. Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 127, 6.

[3] DAYAN,M; KLEIN.S; WILLIAM,B . Analysis of serpentine collectors in low flow systems .Journal of Solar Energy Engineering, 2002, Vol. 96, 5.

[4] SIMON, F; FAN,J Investigations on small low flow SDHW systems with different solar pumps and solar collector loops DTU Civil Engineering ,2010 (UK).

[5] LANA, K. DOMINIQUE, C; CHRISTIAN I. A model of a low flow solar domestic hot water system . Eighth International IBPSA,2003,6.

[6] ALMALEH,H;TINE,H;NAIMEH,W. Studying, Testing and simulating floor heating solar system. Science direct, Energy Procedia, 2011, vol. 6, 337–346.

[7] ALMALEH, H; TINE, H; NAIMEH, W. Studying and simulating low flow floor heating solar system. Science direct, Energy Procedia, 2012, vol. 19, 23 – 29.

[8] ALMALEH, H; TINE, H; NAIMEH, W. Environmental & Feasibility Study to make use of solar Energy in Syria. Science direct, Energy Procedia, 2012,vol. 19, 30 – 37.

[9] Solar Energy Laboratory; Trans solar Energietechnik; Thermal Energy. A Systems Specialists; Thermal Energy Systems Specialists Transient System Simulation program. Univ of Wisconsin-Madison, Energietechnik GmbH, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 2006, vol.1.