

## مقارنة بعض المتغيرات التصميمية لنظام شمسي بطريقتي

(f-chart) و (f-Chart)

### لتغطية الاحتياجات الحرارية للقطاع السكني لمدينتي دمشق واللاذقية

الدكتور جوني تقلا<sup>+</sup>

الدكتور عبد الهادي الزين<sup>++</sup>

بثينة محمد<sup>+++</sup>

(قبل للنشر في 2003/9/7)

#### □ الملخص □

تعتبر طريقة (f-Chart) وسيلة غير مكلفة لتقدير الأداء طويل الأمد للنظم الشمسية ذات خزان حراري محدد، وحمل حراري موصف بدرجة حرارة وحيدة مفيدة أصغرية. تتطرق هذه الورقة إلى دراسة أحدث طرق الاستخدامية المعروفة بطريقة (f-Chart) لتصميم النظم الشمسية الحرارية الفعالة ذات الدارة المغلقة للواقط الشمسية وخزان حفظ الطاقة الحرارية وذي الدارة المغلقة للحمل الحراري حيث يزود هذا الحمل بالطاقة الحرارية (عبر مبادل حراري) عند درجة حرارة أصغرية محددة. تستهل الورقة بشرح مفهوم الاستخدامية (الساعية والشهرية)، ثم تستعرض الأسس النظرية التي تستند إليها طريقة الاستخدامية، وتتضمن الورقة وصفاً لمنهجية البرنامج الحسابي المنفذ والمكتوب بلغة VB6 يهدف هذا البرنامج إلى تحديد نسب التغطية الشمسية لأي حمل حراري ومن أجل نظام شمسي محدد وتناقش هذه الورقة النتائج النظرية كتأثير عدد من المتغيرات على أداء النظام الشمسي كالمعطيات المناخية ونوع اللاقط الشمسي ومساحته وزاوية ميله عن الأفق ودرجة الحرارة الصغرى المتطلبة من النظام الشمسي. كما قورنت النتائج النظرية لهذه الطريقة مع النتائج النظرية لطريقة (f-Chart) وكانت النتائج متقاربة إلى حد كبير.

+ أستاذ في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

++ باحث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - ص. ب 31983 دمشق - سوريا

+++ طالبة ماجستير في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

## The Comprasion of Thermal Variables in Solar System According to (F-Chart), (F-Chart $\bar{f}$ ) for Supplying the Thermal Requirements of Domestic Uses in Damascus and Lattakia

Dr. Johny Takla<sup>+</sup>  
Dr. Abed AlHadi Alzein<sup>++</sup>  
Bouthaina Mohammad<sup>+++</sup>

(Accepted 7/9/2003)

### □ ABSTRACT □

The  $\bar{f}$  (f-chart) is inexpensive method for predicting long-term performance of solar systems and is developed for closed-loop systems with finite storage where the load is characterized by a single minimum useful temperature.

This general design method is presented for designing closed-loop solar systems consisting of solar collectors, energy storage and a closed-loop flow circuit in which thermal energy is supplied (through heat exchanger) to a load above a specified minimum temperature.

This paper describes the concept of hourly and monthly utilization. A computer program written in VB6 was developed to estimate the solar fraction of a total heating and cooling load that should be supplied by solar energy for a given solar system, moreover the paper presents the influence of different parameters such as climatic data, collector characteristics, collector surface area, collector tilt angle and minimum useful temperature.

Comparisons were made between prediction of  $\bar{f}$  (f-chart) method and those of (f-chart) method. The results are very close.

---

<sup>+</sup>Professor - Department Of Mechanical Power Engineering, Faculty Of Mechanical Engineering, Tichreen University, Lattakia, Syria.

<sup>++</sup>Researcher - High Institute For Application Science And Technology - P.O. 31983 - Damascus - Syria.

<sup>+++</sup>Master Student - Department Of Mechanical Power Engineering, Faculty Of Mechanical Engineering, Tichreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

تعتبر طريقة f-Chart وسيلة تصميمية جيدة للنظم الشمسية التي تؤمن طاقة حرارية لتغطية حمل معين عند درجة حرارة صغرى قريبة من 20°C. لكن هذه الطريقة لا تصلح للتطبيقات التي تتطلب طاقة حرارية عند درجات حرارة أعلى أو أدنى من 20°C. مثال على ذلك، الأنظمة الشمسية لتكييف الهواء العاملة بالدارة الامتصاصية التي تتطلب طاقة حرارية عند درجات حرارة أعلى من 75°C. كما أن التطبيقات الصناعية تتطلب طاقة حرارية عند مستويات مختلفة من درجات الحرارة. تستعرض هذه الدراسة طرق تصميم النظم الشمسية الحرارية التي لا يمكن تطبيق طريقة (f-Chart) عليها.

إن دراسة توزيع الإشعاع الشمسي خلال الساعات والأيام الغائمة والمشمسة أي دراسة تكرارية حدوث الفترات الزمنية ذات مستويات الإشعاع المختلفة (خلال الأيام المشمسة والغائمة) هامة لأمرين: أولهما تعطي معلومات عن التوزيع المتكرر (frequency distribution) الذي يربط بين الجزء اليومي للإشعاع المنتشر مع الإشعاع الكلي اليومي، كما يربط بين الوسطي الشهري لجزء الإشعاع المنتشر مع الوسطي الشهري للإشعاع الشمسي الكلي. ثانيهما يستفاد من التوزيع المتكرر في دراسة الاستخدامية (Utilizability) [1].

تتطلب جميع طرق الاستخدامية معرفة درجة حرارة المائع عند مدخل اللاقط الشمسي، والتي غالباً ما تكون مجهولة. إن طريقة (f-Chart) تسمح بتغيير درجة الحرارة هذه مع تغير درجة حرارة التخزين في خزان حفظ الطاقة الحرارية، لكن تتطلب أن تكون دارة الحمل مغلقة، وأن تكون درجة حرارة المائع الراجع إلى الخزان أعلى من قيمة صغرى محددة لدرجة الحرارة [1].

## استخدامية الإشعاع الشمسي Utilizability [1]

تُعرّف الاستخدامية على النحو التالي: إذا كانت شدة الإشعاع الشمسي التي تفوق "شدة معينة حرجة" أو تفوق "عتبة معينة" مفيدة للاستخدام، فإنه يمكن إجراء حساب إحصائي للإشعاع الشمسي يمكن تسميته بـ "استخدامية الإشعاع الشمسي" وتُعرف بأنها جزء الإشعاع الشمسي الإجمالي الذي يمكن استقباله عند شدة أعلى من شدة معينة حرجة. إن الحصول على الطاقة الشمسية القابلة للاستخدام (استخدامية الطاقة الشمسية) يتم بضرب استخدامية الإشعاع الشمسي بمتوسط شدة الإشعاع الشمسي خلال فترة زمنية معينة.

### الاستخدامية الساعية Hourly utilizability

من أجل لاقط شمسي معين، له معامل فقد حراري معين، فإنه يوجد هناك قيمة لشدة الإشعاع الساقط عليه تكون عندها قيمة شدة الإشعاع الشمسي كافية لجعل الإشعاع الشمسي الساعي الممتص ( $I_T$  MJ/m<sup>2</sup>) في اللاقط مساوٍ لفقده الحراري، تسمى هذه القيمة للإشعاع الشمسي الساعي بمستوى الإشعاع الحرج (Critical radiation level,  $I_{Tc}$ )، وبالتالي لن يكون عندها أية قيمة مفيدة للطاقة المنتجة من اللاقط الشمسي. إذاً تعطى طاقة الإشعاع الشمسي التي يمكن الاستفادة منها عند أي لحظة:

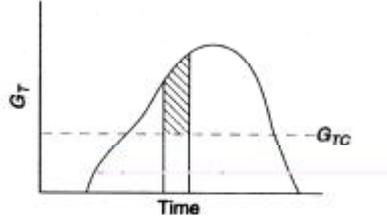
$$(I_T - I_{Tc})^+$$

حيث (+) تشير إلى أن هذه الطاقة يمكن أن تكون معدومة ( $I_T = I_{Tc}$ ) أو موجبة ( $I_T > I_{Tc}$ ).

إن جزء الإشعاع الشمسي الساعي التي تكون قيمته أعلى من المستوى الحرج هو الاستخدامية الساعية (لأي ساعة):

$$f_h = \frac{(I_T - I_{TC})^+}{I_T} \quad (1)$$

وتتراوح قيمة  $f_h$  من الصفر إلى الواحد. يبين الشكل (1) رسماً توضيحياً للاستخدامية الساعية الممثلة بالجزء المهدر (من أجل الساعة المبيّنة،  $I_T$  يمثل المساحة المحصورة أسفل المنحني ، بينما يمثل  $I_{TC}$  الجزء المهسر من هذه المساحة).



الشكل (1) : توزيع الإشعاع الشمسي على مدار يوم والاستخدامية الساعية

إن مفهوم الاستخدامية الساعية لساعة واحدة غير مفيد لذا تُكتب الاستخدامية الساعية لساعة معينة على مدار شهر كامل يحوي  $N$  يوماً (مثلاً من الساعة 10 إلى الساعة 11 في أي شهر) بالشكل التالي:

$$f = \frac{1}{N} \sum^n \frac{(I_T - I_{TC})^+}{\bar{I}_T} \quad (2)$$

حيث  $\bar{I}_T$  الوسطي الشهري الساعي للإشعاع الشمسي عند ساعة معينة. وللحصول على المتوسط الشهري للطاقة الشمسية التي يمكن الاستفادة منها ، يكفي ضرب  $f$  بـ  $\bar{I}_T$  (ساعة معينة على مدار شهر كامل). وبإجراء الحسابات لجميع الساعات نحصل على الطاقة الشمسية الشهرية التي يمكن الاستفادة منها. يُعرّف الإشعاع الشمسي الحرج اللابعدي بالعلاقة التالية :

$$X_C = \frac{I_{TC}}{\bar{I}_T} \quad (3)$$

كما تُعرّف الاستخدامية بأنها جزء الإشعاع الشمسي الساقط الذي يمكن تحويله إلى حرارة مفيدة، وهو الجزء المستخدم بواسطة لاقط شمسي له:  $F_R(ta) = 1$  ويعمل عند قيمة ثابتة للفرق  $(T_i - T_a)$  حيث  $T_i$  درجة حرارة مدخل اللاقط و  $T_a$  درجة حرارة الجو الخارجي. وعلى اعتبار أن هذا اللاقط لا يملك فواقد بصرية (عاكسة أو منكسرة) ولديه معامل إزالة حرارة  $F_R$  مساوٍ للواحد ، فإن الاستخدامية تكون أقل من الواحد طالما أنه يوجد للاقط فواقد حرارية.

إن العلاقة التحليلية للاستخدامية بدلالة الإشعاع الشمسي الساعي الساقط على سطح اللاقط يمكن اشتقاقها من العلاقة الموصفة للكسب الطاقوي المفيد من اللاقط الشمسي :

$$Q_u = A_c F_R [I_T(ta) - U_L (T_i - T_a)]^+ \quad (4)$$

حيث:  $A_c$  مساحة اللاقط الشمسي ( $m^2$ ) .

$F_R$ : معامل إزالة حرارة اللاقط . Collector heat removal factor.

(ta) : جداء امتصاصية السطح الماص بنفاذية الغطاء الشفاف .  
 $U_L$ : معامل الفقد الحراري الكلي للاقط الشمسي ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

إن مستوى الإشعاع الشمسي يجب أن يتجاوز قيمة حرجة قبل أن يبدأ اللاقط الشمسي بإنتاج الطاقة المفيدة. يمكن إيجاد هذه القيمة الحرجة بوضع  $Q_u = 0$  في المعادلة (4) ، أي :

$$I_{TC} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R (ta)} \quad (5)$$

ومنه يمكن التعبير عن الطاقة المفيدة المستخلصة من اللاقط بدلالة القيمة الحرجة للإشعاع الشمسي

:  $I_{TC}$

$$Q_u = A_C F_R (ta) (I_T - I_{TC})^+ \quad (6)$$

إذا كان مستوى الإشعاع الحرج ثابتاً من أجل ساعة محددة (من 10 إلى 11 مثلاً) في شهر (N days) فإن القيمة الوسطية الشهرية للساعية للطاقة المفيدة لهذه الساعة (على مدار الشهر):

$$\bar{Q}_u = \frac{A_C F_R (ta)}{N} \bar{a} (I_T - I_{TC})^+ \quad (7)$$

بفرض القيمة الوسطية الشهرية للإشعاع الشمسي الساعي عند هذه الساعة هي  $\bar{f}$  ، فإنه استناداً للعلاقة

(2) تصبح العلاقة السابقة كما يلي:

$$\bar{Q}_u = A_C F_R (ta) \bar{I}_T \bar{f} \quad (8)$$

حيث  $\bar{f}$  الاستخدامية الساعية.

من جهة أخرى ، يمكن كتابة  $X_C$  بدلالة بارامترات اللاقط الشمسي أي بالاستعانة بالعلاقة (5):

$$X_C = \frac{I_{TC}}{\bar{I}_T} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R (ta) \bar{I}_T} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R (ta)_n \frac{(ta)}{(ta)_n} \bar{I}_T} \quad (9)$$

حيث:  $\frac{(ta)}{(ta)_n}$  تُحسب من أجل اليوم الوسطي للشهر وعند الزاوية الساعية المناسبة.  $(ta)_n$  من أجل الإشعاع

الناظمي [2] .

تكمّن الفائدة الرئيسية من الاستخدامية الساعية في تقدير الطاقة المنتجة من عملية تحويل حراري يخضع فيها مستوى الإشعاع الحرج إلى تغير كبير على مدار اليوم. وقد يكون هذا التغير ناتجاً مثلاً عن تغير درجة حرارة مدخل اللاقط الشمسي بسبب تغير الحمل.

### المعدل الشهري للاستخدامية اليومية Monthly average daily utilizability

هو المجموع الشهري لجميع الساعات والأيام لقيم الإشعاع الشمسي على سطح مائل والتي تفوق الحد الحرج مقسوماً على الوسطي الشهري اليومي للإشعاع الشمسي على سطح مائل :

$$\bar{f} = \frac{\sum_{\text{days hours}} (I_T - I_{TC})^+}{\bar{H}_T \times N} \quad (10)$$

حيث: N عدد الأيام في الشهر ،  $\bar{H}_T$ : الوسطي الشهري اليومي للإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل .  
إن الوسطي الشهري للطاقة الشمسية التي يمكن الاستفادة منها (Month's utilizable energy) هي

$$\bar{H}_T \times N \times \bar{f} \quad (11)$$

إن طريقة حساب  $I_{TC}$  على مدار الشهر مشابه لطريقة حسابه للحصول على الاستخدامية الساعية ما عدا أن المعدل الشهري لمعامل الامتصاصية-النفذية ( $\bar{ta}$ ) يجب أن يستخدم بدلاً من  $ta$  ، و  $\bar{T}_a$  تمثل الوسطي الشهري لدرجة حرارة الجو الخارجي اليومية بدلاً من  $T_a$  :

$$I_{TC} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R (\bar{ta})} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R (ta)_n \frac{(ta)}{(ta)_n}} \quad (12)$$

والمعدل الشهري للكسب الطاقي اليومي المفيد (Monthly average daily useful energy gain)

يُعطى بالعلاقة:

$$\dot{a} \bar{Q}_u = A_C F_R (\bar{ta}) \bar{H}_T \bar{f} \quad (13)$$

طوّر Klein طريقة لحساب  $\bar{f}$  كتابع لـ  $\bar{K}_T$  وللمعامل الهندسي  $\bar{R}/R_n$  ولمستوى الإشعاع الحرج اللابيدي  $\bar{X}_C$ . إن المعدل الشهري لمستوى الإشعاع الحرج  $\bar{X}_C$  هو نسبة الإشعاع الحرج  $I_{TC}$  إلى مستوى الإشعاع عند الظهيرة من أجل يوم في الشهر والذي يكون فيه الإشعاع الشمسي الكلي مساوياً للمعدل الشهري. بكتابة هذه النسبة عند الظهيرة نجد:

$$\bar{X}_C = \frac{I_{TC}}{r_{t,n} R_n \bar{H}} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a) / F_R (\bar{ta})}{r_{t,n} R_n \bar{K}_T \bar{H}_o} \quad (14)$$

حيث:  $\bar{H}_o$ : الوسطي الشهري اليومي للإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي .

$\bar{H}$ : الوسطي الشهري اليومي للإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي .

$\bar{K}_T$ : الوسطي الشهري لمعامل الوضوح (Monthly average clearness index).

$R_n$ : النسبة بين الإشعاع على سطح مائل إلى الإشعاع على سطح أفقي عند اليوم الوسطي للشهر عند ساعة

الظهيرة:

$$R_n = \left(\frac{I_T}{I}\right)_n = \left(1 - \frac{r_{d,n} H_d}{r_{t,n} H}\right) R_{b,n} + \left(\frac{r_{d,n} H_d}{r_{t,n} H}\right) \left(\frac{1 + \cos b}{2}\right) + r_g \left(\frac{1 - \cos b}{2}\right) \quad (15)$$

$R_{b,n}$ : معامل هندسي يمثل النسبة بين الإشعاع المباشر على سطح مائل والإشعاع المباشر على سطح أفقي عند الظهيرة:

$$R_{b,noon} = \frac{\cos|j - d - b|}{\cos|j - d|} \quad (16)$$

حيث:  $j$ : زاوية خط العرض

$d$ : زاوية ميل الشمس .

$b$ : زاوية ميل اللاقط الشمسي عن الأفق .

$H$ : الوسطي اليومي للإشعاع الشمسي الكلي.

$H_d$ : الوسطي اليومي للإشعاع الشمسي المنتثر.

$r_g$ : انعكاسية الأرض.

$r_{t,n}$ : النسبة بين الإشعاع الساعي الكلي والإشعاع اليومي الكلي عند الظهيرة:

$$r_{t,n} = \frac{\frac{\partial I}{\partial H} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s}}{\frac{\partial I}{\partial H} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s}} = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (17)$$

حيث يعطى المعاملان  $b$ ,  $a$  بالعلاقتين التاليتين :

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin (\omega_s - 60), \quad b = 0.6609 - 0.4767 \sin (\omega_s - 60) \quad (18)$$

وتحسب الزاوية الساعية  $w$  بالدرجات عند الظهيرة ، و  $\omega_s$  الزاوية الساعية عند الغروب.

$r_{d,n}$ : النسبة عند الظهيرة بين الإشعاع الساعي المنتثر والإشعاع اليومي المنتثر:

$$r_{d,n} = \frac{\frac{\partial I_d}{\partial H_d} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s}}{\frac{\partial I_d}{\partial H_d} \frac{\partial \omega}{\partial \omega_s}} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (19)$$

$I_d$ : الإشعاع الشمسي الساعي المنتثر.

تحسب الاستخدامية اليومية من العلاقة :

$$\bar{f} = \exp \left\{ \left[ a + b \left( \frac{R_n}{\bar{R}} \right) \right] \left[ \bar{X}_c + c \bar{X}_c^2 \right] \right\} \quad (20)$$

$$\begin{cases} a = 2.943 - 9.271 \bar{K}_T + 4.031 \bar{K}_T^2 \\ b = - 4.345 + 8.853 \bar{K}_T - 3.602 \bar{K}_T^2 \\ c = - 0.170 - 0.306 \bar{K}_T + 2.936 \bar{K}_T^2 \end{cases} \quad (21)$$

و تعطى  $\bar{R}$  بالعلاقة (22) :

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{H} = \frac{\bar{H}_d}{H} \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{H} \frac{\cos b}{2} + r_g \frac{\cos b}{2} \quad (22)$$

### الاستخدامية المعممة Generalized utilizability

يتم حساب  $f$  من أجل موقع جغرافي معين ومن أجل توجيه معين للاقط الشمسي، لكن من أجل المواقع الأخرى التي لا تتوفر فيها المعطيات الكافية يمكن بالاستفادة من الطبيعية الإحصائية للإشعاع الشمسي لتطوير الاستخدامية لتصبح معممة وبالتالي لا تعتمد قيمتها على الوسطي الشهري لمعامل الوضوح  $\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0}$  وعلى خط العرض وعلى زاوية ميل اللاقط الشمسي .

على اعتبار أن الاستخدامية لا تتعلق بالزمن ، أي أن منحنياتها لجميع أزواج الساعات هي نفسها ، فإن منحنياتها المستندة على القيم اليومية الكلية للإشعاع الشمسي هي أيضاً مشابهة لمنحنيات الاستخدامية الساعية. إذاً من الممكن تعيين منحنيات الاستخدامية من القيم الوسطية الساعية للإشعاع الشمسي ومن القيم اليومية الكلية. فمن أجل أي يوم يُحسب الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل من العلاقة التالية :

$$H_T = (H - H_d) \bar{R}_b + H_d \left( \frac{1 + \cos b}{2} \right) + H r_g \left( \frac{1 - \cos b}{2} \right) \quad (23)$$

استخدم في العلاقة السابقة معامل التحويل الوسطي الشهري ( $\bar{R}_b$ ) لنسبة الإشعاع المباشر اليومي على سطح مائل إلى الإشعاع المباشر اليومي على سطح أفقي ، بدلاً من قيمته ليوم معين ، نظراً لكون اليوم الحقيقي خلال الشهر غير معروف:

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{H}_{bT}}{H_b} = \frac{\cos(j - b) \cos d \sin w_\phi + (p/180) w_\phi \sin(j - b) \sin d}{\cos j \cos d \sin w_s + (p/180) w_s \sin j \sin d} \quad (24)$$

$w_\phi$ : الزاوية الساعية عند الغروب لسطح مائل عن الأفق ليوم وسطي ولشهر معين واللاقط موجه نحو الجنوب تماماً

$g=0^\circ$  . بتقسيم  $H_T$  على  $(\bar{H}_0)$  مع إدخال معامل الوضوح المستند إلى  $(\bar{H}_0)$  ، أي:  $K_\phi = \frac{H}{H_0}$  نجد :

$$\frac{H_T}{H_0} = K_\phi \left[ \frac{\bar{H}_d}{H} \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{H} \frac{\cos b}{2} + r_g \frac{\cos b}{2} \right] \quad (25)$$

تستخدم هذه العلاقة في حساب الإشعاع الشمسي على سطح مائل من أجل أيام مختارة. إن وسطي هذه الأيام يعبر عن القيمة طويلة الأمد للوسطي الشهري للإشعاع الشمسي على سطح مائل. ويمكن بسهولة حساب

النسبة  $\left(\frac{H_T}{H_T}\right)$  لكل يوم من أيام الشهر، ومن ثم رسم منحني التوزيع المتكرر والذي بمكاملته تنتج قيمة الاستخدامية.

## تصميم الأنظمة الفعالة بطريقة (f-Chart) [ 1 ]

يتلخص الهدف الأساسي من هذه الطريقة في تعيين معامل التغطية الشهرية (f) الذي يعتبر تابعاً لمتحولين هما X و Y :

$$X = \frac{A_C F_R \phi U_L (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t}{L} \quad (26)$$

ويعبر عن الفقد الحراري للاقط شمسي مرجعي درجة حرارة سطحه  $[100^\circ\text{C}]$  بالنسبة للحمل الحراري الكلي (L).

$$Y = \frac{A_C F_R \phi (\bar{\tau\alpha}) \bar{H}_T N}{L} \quad (27)$$

ويعبر عن الطاقة المفيدة للاقط شمسي ما نسبة للحمل الحراري الكلي (L) .

حيث :

$\bar{T}_a$  : المتوسط الشهري لدرجة حرارة الجو الخارجي.

$T_{ref}$  : درجة حرارة مرجعية مشتقة تجريبياً  $(100^\circ\text{C})$ .

N : عدد أيام الشهر .

$\Delta t$  : العدد الكلي للثواني في الشهر .

L : القيمة الشهرية للحمل الحراري.

يمكن إعادة كتابة العلاقتين (26) و (27) بالشكلين التاليين :

$$X = F_R U_L \cdot \frac{F_R \phi}{F_R} \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \cdot \Delta t \cdot \frac{A_C}{L} \quad (28)$$

$$Y = F_R (ta)_n \cdot \frac{F_R \phi}{F_R} \cdot \frac{(\bar{\tau\alpha})}{(ta)_n} \cdot \bar{H}_T \cdot N \cdot \frac{A_C}{L} \quad (29)$$

$F'_R$ : معامل إزالة حرارة اللاقط الشمسي المعدل (Modified collector heat removal factor) .  
يمكن الحصول على  $F_R U_L$  و  $F_R (ta)_n$  من نتائج اختبار اللاقط الشمسي. من أجل اللواقط الشمسية التي تستخدم الماء كوسيط لنقل الحرارة ، تعطى علاقة (f) و X و Y بالعلاقة التالية :

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (30)$$

استنتجت المعادلات السابقة من أجل سعة تخزينية قياسية 75 ليتر لكل  $1\text{m}^2$  من اللواقط الشمسية ، لكن عندما تختلف هذه القيمة يجب إدخال التصحيح التالي [1] :

$$(31) \frac{X_c}{X} = \frac{\text{Actual storage capacity}}{\text{Standard storage capacity}}^{-0.25}$$

حيث: Standard storage capacity = 75 l / m<sup>2</sup>

وهذه العلاقة صالحة من أجل ساعات تخزينية تتراوح بين [37.5 l / m<sup>2</sup>] و [300 l / m<sup>2</sup>] أو من أجل :

$$(32) 0.5 \leq \frac{\text{Actual storage capacity}}{\text{Standard storage capacity}} \leq 4.0$$

إضافة إلى ذلك ، استنتجت معادلات طريقة f-Chart من أجل البارامتر التالي للمبادل الحراري الحملّي (المبادل الحراري الواقع بين الحمل وخزان حفظ الطاقة الحرارية):

$$\frac{\varepsilon_L \times C_{\min}}{(UA)_h} = 2 \quad (33)$$

حيث:  $\varepsilon_L$ : فعالية المبادل الحراري الحملّي.

$C_{\min}$ : القيمة الصغرى بين قيمتي معدلي سعة المائعين في المبادل (W/ °C).

$(UA)_h$ : جداء معامل الفقد الحراري الكلي بالمساحة الخارجية للبناء المدروس (W/ °C)

لكن عندما تختلف قيمة هذا البارامتر يجب إدخال التصحيح التالي :

$$\frac{Y_c}{Y} = 0.39 + 0.65 \exp \left( \frac{0.139 \times (UA)_h}{\varepsilon_L \times C_{\min}} \right) \quad (34)$$

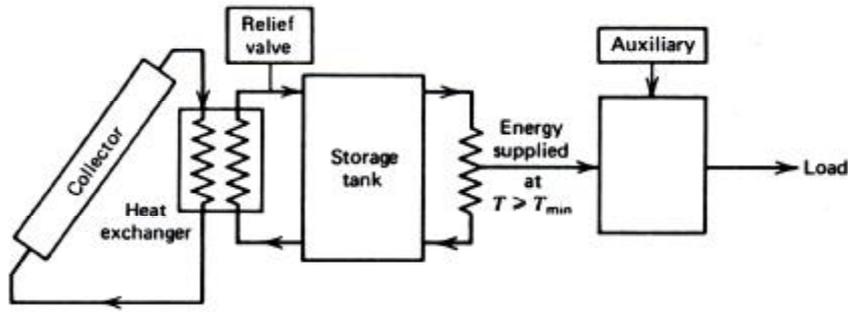
وهذا التصحيح صالح من أجل :

$$0.5 \leq \frac{\varepsilon_L \times C_{\min}}{(UA)_h} \leq 50 \quad (35)$$

## تصميم الأنظمة الفعّالة بطرق الإستخدامية (طريقة f-chart ، $\bar{f}$ )

تعتبر هذه الطريقة مفيدة عندما تعمل اللواقط الشمسية عند مستوى إشعاع شمسي حرج معروف خلال أي شهر. في الأنظمة العملية، تكون اللواقط الشمسية مربوطة بخزان حفظ الطاقة الحرارية. إن التغيرات الشهرية للشروط المناخية مع تغير الحمل زمنياً يؤدي إلى تغير درجة حرارة التخزين.

في هذه الطريقة، تم دمج مفهوم الاستخدامية ( $\bar{f}$ ) بطريقة (f-Chart) للحصول على طريقة تصميمية للنظم الشمسية ذات الدارة المغلقة كما هو موضح بالشكل (2):



الشكل (2): مخطط لنظام شمسي بدارة مغلقة

تُطبق هذه الطريقة على النظم الشمسية التي تُقدّم الطاقة الحرارية للحمل عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة أصغر معينة  $T_{min}$  (كما هو الحال في التبريد الامتصاصي). إن درجة حرارة المائع العائد من الحمل تكون دائماً مساوية أو أعلى من  $T_{min}$ . ويتم وصل النظام المساعد المنفصل على التوازي مع النظام الشمسي ويقوم بتقديم الطاقة اللازمة عند نقص فعالية النظام الشمسي. إن المعدل الشهري الأعظمي للطاقة اليومية التي يمكن أن تُقدّم من خلال نظام مشابه يعطى بالعلاقة:

$$\dot{a} \bar{Q}_{u,max} = A_C F_R (\bar{\tau}\alpha) \bar{H}_T \bar{f}_{max} \quad (36)$$

وهي مشابهة للمعادلة (13) ما عدا أن  $\bar{f}_{max}$  قد تم استبدالها بـ  $\bar{f}_{max}$ . تُحسب الاستخدامية اليومية الأعظمية من المعدل الوسطي الشهري الأصغري لنسبة الإشعاع الحرج:

$$\bar{X}_{C,min} = \frac{F_R U_L (T_{min} - \bar{T}_a) / F_R (\bar{\tau}\alpha)}{r_{t,n} R_n \bar{H}} \quad (37)$$

يتم حساب  $\bar{f}_{max}$  من العلاقة (20) بعد اعادة كتابتها بالشكل التالي:

$$\bar{f}_{max} = \exp \left\{ \left[ a + b \left( R_n / \bar{R} \right) \right] \left[ \bar{X}_{C,min} + c \bar{X}_{C,min}^2 \right] \right\} \quad (38)$$

ومن أجل قيمة محددة لنسبة السعة التخزينية القياسية منسوبة إلى مساحة اللواقط الشمسية (350  $(kJ/m^2 \cdot ^\circ C)$  إلى السعة التخزينية المعتبرة  $(MCp/Ac)$  أي  $350/(MCp/Ac) R_s$ ، حيث  $M$  سعة الخزان ، أدخل Klein and Beckman على النظام الشمسي الموضح في الشكل (2) بارامترين لابعديين مشابهين للبارامترين الرئيسيين في طريقة (f-Chart) ولكنهما غير متساويين [1]. فالبارامتر  $Y$  في طريقة f-Chart استبدل بالبارامتر  $Y \bar{f}_{max}$ :

$$\bar{f}_{max} Y = \bar{f}_{max} \frac{A_C F_R (\bar{\tau}\alpha) \bar{H}_T N}{L} \quad (39)$$

حيث  $L$ : الحمل الحراري (GJ). واستبدل البارامتر  $X$  في طريقة f-Chart بالبارامتر  $X\phi$ :

$$X\phi = \frac{A_C F_R U_L (100) \Delta t}{L} \quad (40)$$

حيث استبدل الحد  $\bar{T}_a$  (- 100) بالثابت العملي 100 ، و  $\Delta t$  يعبر عن العدد الكلي للثواني في الشهر  
المعتبر .

يمكن رسم مخططات تعطي  $\bar{f}_{\max} Y$  بدلالة  $X\phi$  وذلك من أجل قيمة محددة لـ  $R_s$ . يمكن تمثيل هذه  
المخططات تحليلياً بالعلاقة التالية :

$$f = \bar{f}_{\max} Y - 0.015 (e^{3.85f} - 1)(1 - e^{-0.15X\phi})(R_s)^{-0.76} \quad (41)$$

وعلى اعتبار أن نسبة التغطية الشمسية ( $f$ ) هي بارامتر ضمني فإن حل هذه المعادلة يتم باستخدام طريقة  
نيوتن أو طريقة المحاولة والخطأ .

يمثل الجداء  $f.L$  نسبة التغطية الشمسية للحمل ( $f$ ) بالحمل الحراري المفيد ( $L$ ) ويمثل هذا الجداء المعدل  
الوسطي الشهري لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل ( $L$ ). وبإجراء الحسابات لكل شهر من أشهر السنة  
يمكن تحديد نسبة التغطية الشمسية السنوية ( $f$ ).

## تأثير الفقد الحراري من خزان حفظ الطاقة الحرارية

إن معدل الفقد الحراري من خزان حفظ الطاقة الحرارية يعطى بالعلاقة التالية :

$$Q_{ST} = (UA)_T \times (\bar{T}_s - \bar{T}_a) \times \Delta t \quad (42)$$

حيث:  $[\bar{T}_s (^\circ C)]$ : المتوسط الشهري لدرجة الحرارة الوسطية داخل الخزان.

$\Delta t$ : الفترة الزمنية خلال الشهر وتساوي عدد الثواني في الشهر.

$[(UA)_T (W/^\circ C)]$ : المتوسط الشهري لجداء معامل الفقد الحراري للخزان بمساحته الخارجية.

إن الحمل الكلي هو الحمل الحراري المفيد ( $L$ ) مضافاً إليه الفقد الحراري للخزان:  $L + Q_{ST}$

وجزء الحمل الكلي المغطى من الطاقة الشمسية (متضمناً مفاوئد الخزان):

$$f_{TL} = \frac{Q_s + Q_{ST}}{L + Q_{ST}} \quad (43)$$

حيث  $Q_s$ : الطاقة المفيدة المنتجة من الطاقة الشمسية والمقدمة للحمل ( $GJ$ ).

لكن من أجل المحافظة على نفس تعريف جزء الحمل المغطى من الطاقة الشمسية :

$$f = \frac{Q_s}{L} \quad (44)$$

أي نسبة الطاقة الشمسية المقدمة إلى الحمل الحراري المفيد ، فإن المعادلة السابقة تكتب بالشكل التالي :

$$f = f_{TL} \times \frac{Q_{ST}}{L} + \frac{Q_s}{L} \quad (45)$$

إذا كانت  $Q_{ST}$  معروفة فإنه يمكن حساب  $f$  و  $f_{TL}$ . ولحساب  $Q_{ST}$  يجب معرفة  $\bar{T}_s$ .

تم اقتراح حساب  $\bar{T}_s$  من الوسطي العددي لكل من  $T_{min}$  و  $\bar{T}_i$  (الوسطي الشهري لدرجة الحرارة عند مدخل اللاقط الشمسي) [1]:

$$\bar{T}_s = \frac{\bar{T}_i + T_{min}}{2} \quad (46)$$

وعلى اعتبار أن  $\bar{T}_i$  غير معروفة فإن الحسابات يجب أن تتم بطريقة التكرار .

## تأثير وجود المبادل الحراري الحمل

إن وجود مبادل حراري بين الحمل وخزان حفظ الطاقة الحرارية يساعد على إضافة مقاومة حرارية ترفع من درجة حرارة الخزان وبالتالي تخفض من الطاقة المفيدة المقدمة للحمل ولذا يجب إجراء تصحيح يأخذ بعين الاعتبار وجود هذا المبادل الحراري. إن متوسط الزيادة في درجة حرارة الخزان اللازم لتأمين الطاقة المطلوبة للحمل يعطى بالعلاقة التالية :

$$\Delta T = \frac{Q_s/Dt}{\epsilon_L \times C_{min}} = \frac{f \times L/Dt}{\epsilon_L \times C_{min}} \quad (47)$$

حيث  $\epsilon_L$ : فعالية المبادل الحراري و  $C_{min} = (m \times C_p)$  المعدل الأصغر للسعة الحرارية للجريان باتجاه الحمل وللسعة الحرارية للجريان باتجاه الخزان حيث  $m$  معدل التدفق و  $C_p$  الحرارة النوعية للمائع. تتحدد قيمة  $\Delta T$  بطريقة التكرار .

## البرنامج الحسابي والمعطيات

تم ادخال جميع المعادلات السابقة ضمن برنامج بلغة VB6. يهدف البرنامج إلى تحديد نسب التغطية الشمسية الشهرية (f) ونسبة التغطية الشمسية السنوية (f) لأي حمل حراري مطلوب. إن منهجية عمل البرنامج هي على النحو التالي:

### اختيار الموقع الجغرافي

من أجل المقارنة بين عدة مناطق جغرافية في سوريا ، تم الاختصار على مدينتي دمشق واللاذقية فقط :

- دمشق: محطة رصد خرابو      خط طول 36° 28'      وخط عرض 33° 30'

: محطة رصد مطار دمشق الدولي      خط طول 36° 32'      وخط عرض 33° 26'

- اللاذقية: محطة رصد اللاذقية      خط طول 35° 47'      وخط عرض 35° 33'

يتمتع كل موقع جغرافي ببارامترات خاصة به كخط العرض ودرجة الحرارة الجافة ومعدل الإشعاع الشمسي الكلي.

### البارامترات الثابتة (المعطيات)

- معامل انعكاسية الأرض: على الرغم من تغييره شهرياً ، إلا أنه تم تثبيته عند القيمة  $\rho_g = 0.2$
- زاوية سمت سطح اللاقط الشمسي موافقة لاتجاه الجنوب تماماً  $g = 0^\circ$

- الثابت الشمسي وقيمه
  - الحرارة النوعية للماء وقيمتها
  - قرينة الانكسار للزجاج  $n=1.526$
  - امتصاصية الصفيحة الماصة عند الورود الناظمي  $\alpha_n=0.93$
  - القيم الوسطية الشهرية اليومية لدرجة الحرارة الخارجية. كما في الجدول (1) لمدينتي دمشق واللاذقية [3].
  - القيم الوسطية الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي ( $\bar{H}$ ). يبين الجدول (2) قيم المتوسطات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي ( $\bar{H}$ ) في دمشق واللاذقية والمأخوذة من [3].
- البارامترات المتغيرة:** والتي يمكن ادخالها حسب رغبة المبرمج أو المستثمر مثل:
1. مساحة اللواقط الشمسية ( $A_C$ ) ، وزاوية ميل اللواقط الشمسية ( $\beta$ ) .
  2. درجة الحرارة الأصغرية المطلوبة من النظام الشمسي ( $T_{min}$ ) .
  3. حجم خزان حفظ الطاقة الحرارية ( $M$ ) الوارد في المقدار  $R_s=350/(MC_p/A_C)$  يفترض متعلقاً بمساحة اللواقط الشمسية ( $A_C$ ) وفق العلاقة التالية :
- $$M = 50. A_C \quad (\text{kg})$$

أي أن كل واحد متر مربع من اللواقط الشمسية يحتاج إلى (50) ليتر ماء كحجم تخزيني .

الجدول (1) : المتوسط الشهري لدرجة الحرارة الخارجية في دمشق واللاذقية

Month	$\bar{T}_a$ (°C)		
	Damascus		Latakia
	خرايبو	مطار دمشق	
Jan	6.2	6.3	12.1
Feb	7.9	8.0	12.9
Mar	10.6	10.8	14.0
Apr	14.5	15.5	17.6
May	18.4	20.1	20.3
Jun	22.1	24.2	23.6
Jul	24.2	26.4	26.1
Aug	23.6	25.9	26.9
Sep	21.3	23.3	25.5
Oct	16.8	17.9	22.2
Nov	10.5	11.3	16.9
Dec	6.8	7.1	13.5
Yearly	15.2	16.4	19.3

الجدول (2) : معطيات المتوسطات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي على سطح أفقي

(دراسة CISE على مطار دمشق الدولي 33.42°)  $\bar{H}$  (KWh/m<sup>2</sup>.day)

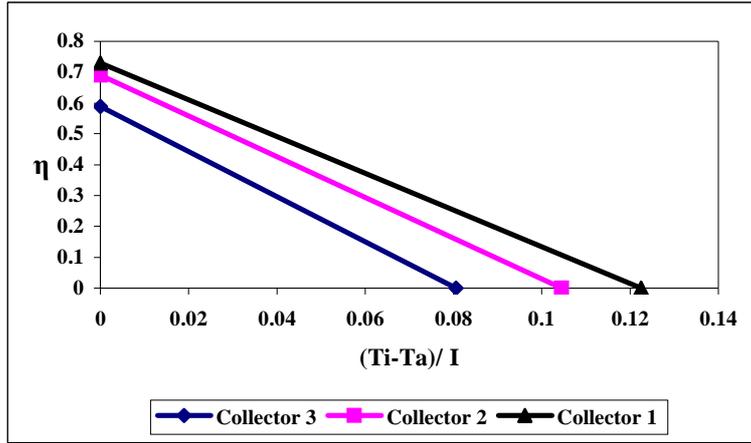
Month	Damascus	Latakia
	Syrian Atlas[3]	Syrian Atlas[3]
Jan	2.74	2.20
Feb	3.72	3.05
Mar	4.78	4.21
Apr	5.86	5.26
May	6.84	6.60
Jun	7.53	6.93
Jul	7.14	6.70
Aug	6.85	6.22
Sep	5.80	5.35
Oct	4.42	4.01
Nov	3.12	2.88
Dec	2.54	2.25
Yearly	5.11	4.64

#### البارامترات الخاصة بدارة اللواقط الشمسية

من أجل المقارنة اخترنا ثلاثة لواقط شمسية حرارية مسطحة مختلفة من حيث المواصفات والتصميم وتحتوي جميعها على غطاء زجاجي واحد ومختبرة في مركز الدراسات والبحوث العلمية. يوضح الشكل (3) مستقيمات المردود اللحظي لهذه اللواقط بالعلاقة مع  $(T_i - T_a) / I$  ، حيث استخلصت البارامترات التالية (الجدول 3) من هذا الشكل :

الجدول (3) البارامترات المميزة للواقط الشمسية المختارة

$F_R U_L$ (W/m <sup>2</sup> . °C)	$F_R (t_a)_n$	
5.96	0.73	اللاقط 1
6.61	0.69	اللاقط 2
7.32	0.59	اللاقط 3



الشكل (3): مستقيمات المردود اللحظي للواظ الشمسية المختارة

يتألف اللاقط رقم (1) من صفيحة ماصة انتقائية (امتصاصية عالية للاشعاع الشمسي واصدارية منخفضة للاشعاع الحراري) وهو مصنع خارج القطر. أما اللاقط رقم (2) فهو مطور في مركز الدراسات والبحوث العلمية، واللاقط رقم (3) مصنع محلياً في القطاع الخاص. من جهة أولى ، ونظراً لتعلق النسبة  $F_R \phi / F_R$  بتدفق المائع في دائرة اللواظ الشمسية - المبادل الحراري وفي دائرة خزان حفظ الطاقة الحرارية - المبادل الحراري ، فإنه يمكن افتراض أن قيمتها مساوية لـ 0.95 . إذاً لدينا :

$$F_R \phi / F_R = F_R \phi U_L / F_R U_L = 0.95 \quad \text{ب} \quad F_R \phi U_L = 0.95 F_R U_L$$

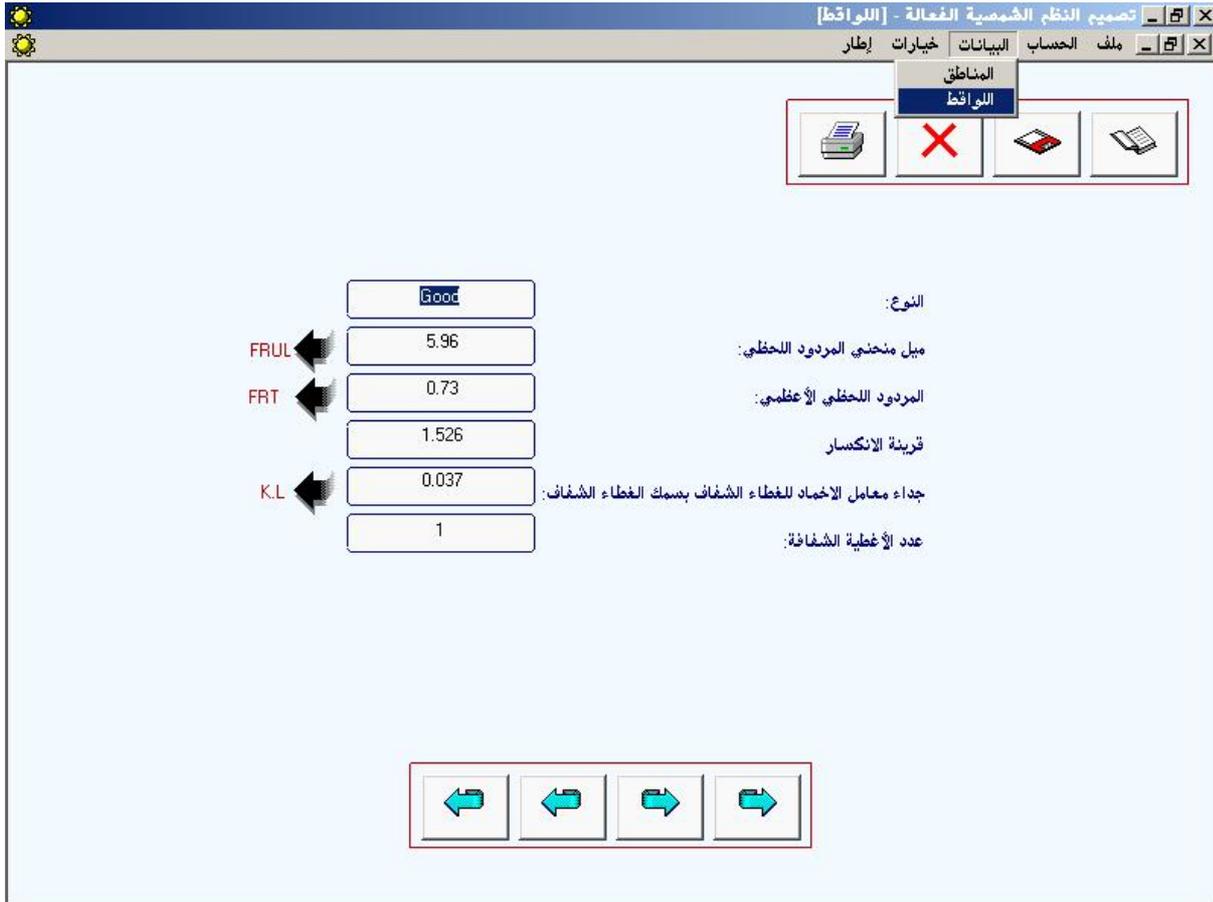
$$F_R \phi / F_R = F_R \phi (\tau \alpha)_n / F_R (\tau \alpha)_n = 0.95 \quad \text{ب} \quad F_R \phi (\tau \alpha)_n = 0.95 F_R (\tau \alpha)_n$$

وبمساعدة الجدول (3) يمكن حساب  $F_R \phi U_L$  و  $F_R \phi (\tau \alpha)_n$  ومن جهة ثانية ، وعلى اعتبار أن  $(\tau \alpha)_n$  يتم حسابها فإنه يمكن حساب قيمة  $F_R$  من القيم التجريبية المستخلصة

$$F_R = \frac{C}{(\tau \alpha)_n} \quad \text{من اختبار اللاقط كما يلي:}$$

حيث  $C = F_R (\tau \alpha)_n$  هو الثابت المعطى في الجدول (3). كما يمكن تحديد قيمة  $U_L$  كما يلي:  $U_L = F_R / D$  حيث  $D = F_R U_L$  هو الثابت المعطى في الجدول (3). وتحديد  $F_R \phi$  كما يلي:  $F_R \phi = 0.95 F_R$

ويبين الشكل رقم (4) من البرنامج المصمم توضح طريقة ادخال البيانات الخاصة باللواظ المختارة.



الشكل رقم (4) نافذة ادخال البيانات الخاصة

### الأحمال الحرارية

قدرت الأحمال الحرارية الوسطية الشهرية (تسخين مياه وتدفئة وتكييف) من أجل بناء سكن أساتذة جامعة تشرين المؤلف من ست شقق مساحتهم الإجمالية (636 m<sup>2</sup>) وفقاً لما يلي :

#### حمل تسخين المياه

بفرض أن احتياج الشقة الواحدة من المياه الساخنة هو (200) ليتر يومياً، وأن درجة الحرارة المطلوبة هي (55 °C) وأن درجة حرارة المياه البدائية هي (16 °C) ، فإن الحمل الشهري الإجمالي للبناء هو ثابت لكل الأشهر ويساوي :

$$L_w = 200 \times 6 \times 4.19 \times (55-16) \times 31 \div 10^6 \approx 6.38 \text{ [GJ]}$$

يدون الجدول (4) قيم هذا الحمل من أجل مدينتي دمشق واللاذقية .

#### حمل التدفئة

يقدر هذا الحمل انطلاقاً من القيم الوسطية الشهرية لدرجات الأيام (Mean Monthly Degree-days) التي تقل عن 18 °C والمتوفرة في أطلس الإشعاع الشمسي لسورية [3]. انطلاقاً من قيمة (UA)<sub>h</sub> المحسوبة للبناء المدروس والتي تأخذ بعين الاعتبار تأثير تسرب الهواء والكسب الحراري الداخلي والبالغة قيمتها شتاءً

التالية:  $(UA)_h=3280 [W/°C]$  وصيفاً  $(UA)_c= 2636 [W/°C]$ ، فإن الحمل الحراري الشهري يحسب وفقاً للعلاقة

$$L_h = (UA)_h \times DD \times 24 \times 3600 \div 10^9 \quad [GJ]$$

حيث DD القيم الوسطية الشهرية لدرجات الأيام. يدون الجدول (4) القيم الوسطية الشهرية لدرجات الأيام ولحمل التدفئة من أجل مدينتي دمشق واللاذقية .

#### حمل التكييف

تم حساب الحمل الحراري للتكييف ( $L_c$ ) في الأشهر التالية المختارة: حزيران وتموز وآب وأيلول ، وافترض متساوياً في كل من دمشق واللاذقية. يدون الجدول (4) قيم هذه الأحمال الحرارية من أجل مدينتي دمشق واللاذقية .

الجدول (4): القيم التقديرية للأحمال الحرارية لبناء مساحته ( $636 m^2$ )

Month	Damascus					Latakia				
	DD °C- days	$L_w$ GJ	$L_h$ GJ	$L_c$ GJ	مجموع الأحمال	DD °C- days	$L_w$ GJ	$L_h$ GJ	$L_c$ GJ	مجموع الأحمال
Jan	287.2	6.38	81.39	0	87.78	142.4	6.38	40.36	0	46.74
Feb	241	6.38	68.30	0	74.69	125	6.38	35.43	0	41.81
Mar	180.4	6.38	51.13	0	57.51	87.7	6.38	24.85	0	31.24
Apr	107.9	6.38	0.00	0	6.38	23.1	6.38	0.00	0	6.38
May	62.4	6.38	0.00	0	6.38	1.1	6.38	0.00	0	6.38
Jun	35	6.38	0.00	25.13	31.51	0	6.38	0.00	25.13	31.51
Jul	19.6	6.38	0.00	25.97	32.35	0	6.38	0.00	25.97	32.35
Aug	26.5	6.38	0.00	25.97	32.35	0	6.38	0.00	25.97	32.35
Sep	46.3	6.38	0.00	25.13	31.51	0	6.38	0.00	25.13	31.51
Oct	38.9	6.38	0.00	0.00	6.38	0	6.38	0.00	0	6.38
Nov	186	6.38	52.71	0	59.10	40.6	6.38	11.51	0	17.89
Dec	268.6	6.38	76.12	0	82.51	109.1	6.38	30.92	0	37.30
Yearly		76.6	329.7	102.2	508.5		76.6	143.1	102.2	321.9

ملاحظة: عند ورود القيمة صفر في الجدول (4) تعني عدم وجود الحمل أصلاً (عدم الحاجة إلى التكييف صيفاً أو شتاءً).

## النتائج النظرية

### المعدلات الوسطية الشهرية لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل (طريقة $\bar{f}$ ، f-chart)

من أجل المعطيات الثابتة الواردة في الفقرة (7-2)، يدون الجدول (5) المعدلات الوسطية الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق المحسوبة بطريقة ( $\bar{f}$  ، f-chart)، كما يدون الجدول (6) المعدلات الوسطية الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في اللاذقية المحسوبة بطريقة ( $\bar{f}$  ، f-chart). إن هذه القيم الشهرية محسوبة في اليوم المميز لكل شهر. إن مساحة ( $300m^2$ ) من اللواقط الشمسية الجيدة (كما تم التنويه إلى ذلك في الفقرة (7-4)) قادرة على تغطية %

52.4 (266.5/508.5) من الحمل السنوي في دمشق. لكن هذه المساحة قادرة على تغطية 75% (241.4/321.9) من الحمل السنوي في اللاذقية.

الجدول (5): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في دمشق (طريقة f-Chart,  $\bar{f}$ )

Damascus Slope=33.50° Collector No 1 Ac= 300 m <sup>2</sup> T <sub>min</sub> =60 °C								
Month	$\bar{X}_{C,min}$	$\bar{f}_{max}$	Y	$\bar{f}_{max}$ Y	X $\phi$	f	L (GJ)	f.L(GJ)
Jan	0.8	0.22	1.02	0.22	5.18	0.21	87.78	18.43
Feb	0.64	0.28	1.33	0.37	5.5	0.34	74.69	25.77
Mar	0.56	0.33	2.09	0.68	7.91	0.58	57.51	33.47
Apr	0.49	0.37	19.33	7.24	69.01	1	6.38	6.38
May	0.43	0.42	20.93	8.75	71.31	1	6.38	6.38
Jun	0.38	0.47	4.28	2	13.97	1	31.51	31.51
Jul	0.37	0.48	4.18	2.03	14.06	1	32.35	32.35
Aug	0.35	0.5	4.41	2.23	14.06	1	32.35	32.35
Sep	0.37	0.48	4.28	2.05	13.97	1	31.51	31.51
Oct	0.46	0.4	19.46	7.78	71.31	1	6.38	6.38
Nov	0.65	0.28	1.65	0.46	7.45	0.42	59.1	24.69
Dec	0.82	0.21	1.05	0.22	5.51	0.21	82.51	17.24
<b>TOTAL</b>							<b>508.5</b>	<b>266.5</b>

الجدول (6): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في اللاذقية (طريقة f-Chart,  $\bar{f}$ )

Latakia Slope=35.55° Collector No 1 Ac= 300 m <sup>2</sup> T <sub>min</sub> = 60 °C								
Month	$\bar{X}_{C,min}$	$\bar{f}_{max}$	Y	$\bar{f}_{max}$ Y	X $\phi$	f	L (GJ)	f.L(GJ)
Jan	0.93	0.22	1.53	0.34	9.73	0.31	46.74	14.64
Feb	0.73	0.28	1.92	0.54	9.83	0.47	41.81	19.7
Mar	0.6	0.32	3.38	1.09	14.56	0.8	31.24	25.11
Apr	0.52	0.37	17.3	6.43	69.01	1	6.38	6.38
May	0.43	0.43	20.17	8.57	71.31	1	6.38	6.38
Jun	0.4	0.45	3.93	1.79	13.97	1	31.51	31.51
Jul	0.38	0.48	3.91	1.9	14.06	1	32.35	32.35
Aug	0.35	0.51	4	2.04	14.06	1	32.35	32.35
Sep	0.36	0.5	3.97	2	13.97	1	31.51	31.51
Oct	0.44	0.44	17.9	7.8	71.31	1	6.38	6.38
Nov	0.59	0.33	5.23	1.74	24.61	1	17.89	17.89
Dec	0.8	0.25	2.12	0.53	12.2	0.46	37.3	17.22
<b>TOTAL</b>							<b>321.9</b>	<b>241.4</b>

ويبين الشكل رقم (5) نافذة من البرنامج المصمم توضح فيه النتائج المبينة في الجدول رقم (6).

The screenshot shows a software window titled "تصميم النظم الشمسية الفعالة - [الحساب]". It contains several input fields and a table of results. The input fields are organized into sections: "معاملات أخرى" (Other Parameters), "مقارنات" (Comparisons), "المنطقة" (Area), and "النتائج" (Results). The "معاملات أخرى" section includes fields for collector temperature (60), ground reflectance (0.2), solar constant (1367), and storage capacity (15000). The "مقارنات" section includes fields for collector efficiency (0.45), collector loss coefficient (3000), and storage loss coefficient (5.9). The "المنطقة" section includes a field for area (300) and a dropdown menu for "النوع" (Type) set to "Good". The "النتائج" section includes a dropdown menu for "الاسم" (Name) set to "Lattakia 4" and a field for "خط العرض" (Latitude) set to "35.55".

The table of results is titled "المعدلات الشهرية لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في منطقة ماء، طريقة (Phi,f-Chart)". It has the following columns: الشهر (Month),  $\eta_{coll}\%$ ,  $Q_u$  (GJ),  $f \cdot L$  (GJ),  $L$  (GJ),  $\bar{f}$ , and الشهر (Month). The data is as follows:

الشهر	$\eta_{coll}\%$	$Q_u$ (GJ)	$f \cdot L$ (GJ)	$L$ (GJ)	$\bar{f}$	الشهر
أذار	0.21	34.19	25.11	31.24	0.8	أذار
نيسان	0.24	41.03	6.38	6.38	1	نيسان
أيار	0.27	54.7	6.38	6.38	1	أيار
حزيران	0.29	56.35	31.51	31.51	1	حزيران
تموز	0.31	61.32	32.35	32.35	1	تموز
أب	0.33	66.08	32.35	32.35	1	أب
أيلول	0.33	62.91	31.51	31.51	1	أيلول
تشرين الأول	0.29	49.74	6.38	6.38	1	تشرين الأول
تشرين الثاني	0.22	31.05	17.89	17.89	1	تشرين الثاني
كانون الأول	0.16	19.69	17.22	37.3	0.46	كانون الأول
المجموع	2.98	515.49	241.42	321.84		المجموع

الشكل رقم (5) النتائج المبينة في الجدول رقم (6)

### المقارنة بين طريقة (f-Chart, $\bar{f}$ ) وطريقة (f-Chart)

من أجل المعطيات الثابتة الواردة في الفقرة (7-2) ومن أجل  $T_{min}=20(°C)$  ، يدون الجدول (7) المعدلات الوسطية الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق المحسوبة بطريقة (f-Chart) ، كما يدون الجدول (8) المعدلات الوسطية الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في اللاذقية المحسوبة بطريقة (f-Chart). إن هذه القيم الشهرية محسوبة في اليوم المميز لكل شهر. يتبين من الجدولين (7) و(8) أن طريقة (f-Chart) تؤدي إلى معدلات وسطية شهرية لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل الحراري الوسطي الشهري أكبر من المعدلات الناتجة عن طريقة (f-Chart,  $\bar{f}$ ) المطبقة عند ( $T_{min}=60(°C)$ )، ففي دمشق تغطي طريقة (f-Chart) الحمل السنوي بنسبة % 70.5 (358.4/508.5) ، وفي اللاذقية تغطي الحمل السنوي بنسبة % 85.6 (275.6/321.9) ، مقارنة مع نتائج طريقة (f-Chart,  $\bar{f}$ ): % 52.4 و % 75 على الترتيب. إن هذا الاختلاف الكبير بين نتائج الطريقتين يعطي انطباعاً أولياً بعدم صلاحية استخدام إحدى الطريقتين في مثل هذه النظم الشمسية المدروسة.

الجدول (7): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في دمشق (طريقة f-Chart)

Damascus Slope=33.50° Collector No 1 Ac=300 m <sup>2</sup> T <sub>min</sub> =20 °C								
Month	$\bar{H}_T$	$\bar{H}_b$	$\bar{S}$	$w_s$	X	Y	f	f.L(GJ)
Jan	4.12	1.71	3.21	75.32	5.38	0.93	0.46	40.62
Feb	5	2.46	3.92	81.19	5.61	1.2	0.61	45.61
Mar	5.49	3.04	4.29	88.33	7.83	1.89	0.82	46.9
Apr	5.86	3.8	4.55	96.23	65.3	17.48	1	6.38
May	6.17	4.62	4.77	102.96	64.4	18.93	1	6.38
Jun	6.45	5.34	4.98	106.37	12.05	3.97	1	31.51
Jul	6.26	4.93	4.83	104.91	11.8	3.88	1	32.35
Aug	6.55	4.87	5.1	99.19	11.89	4.1	1	32.35
Sep	6.36	4.06	4.98	91.57	12.17	3.98	1	31.51
Oct	5.66	2.97	4.44	83.67	65.66	17.6	1	6.38
Nov	4.6	2.05	3.6	76.97	7.38	1.49	0.68	40.18
Dec	3.96	1.58	3.09	73.67	5.68	0.95	0.46	38.18
<b>TOTAL</b>								<b>358.4</b>

الجدول (8): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في اللاذقية (طريقة f-Chart)

Latakia Slope=35.55° Collector No 1 Ac= 300 m <sup>2</sup> T <sub>min</sub> = 20 °C								
Month	$\bar{H}_T$	$\bar{H}_b$	$\bar{S}$	$w_s$	X	Y	f	f.L(GJ)
Jan	3.29	1.21	2.56	74.12	9.47	1.39	0.56	26.11
Feb	4.08	1.79	3.18	80.48	9.47	1.74	0.71	29.59
Mar	4.85	2.47	3.77	88.2	13.86	3.06	0.92	28.59
Apr	5.26	3.16	4.08	96.73	62.93	15.64	1	6.38
May	5.96	4.34	4.6	104.02	62.9	18.24	1	6.38
Jun	5.95	4.59	4.58	107.71	11.81	3.65	1	31.51
Jul	5.88	4.39	4.53	106.13	11.5	3.64	1	32.35
Aug	5.96	4.11	4.62	99.93	11.38	3.71	1	32.35
Sep	5.91	3.58	4.62	91.69	11.52	3.69	1	31.51
Oct	5.21	2.58	4.08	83.17	61.4	16.19	1	6.38
Nov	4.41	1.86	3.45	75.91	22.63	4.73	1	17.89
Dec	3.63	1.35	2.83	72.33	11.68	1.92	0.71	26.55
<b>TOTAL</b>								<b>275.6</b>

لكن المقارنة السابقة لم تأخذ بعين الاعتبار ما يلي :

- شروط تطبيق طريقة f-Chart من حيث درجة الحرارة الصغرى المسموح بها وهي (°C)  $T_{min}=20$  أي أنه عند قيم تزيد عن درجة الحرارة هذه يستفاد من كامل الطاقة المنتجة من النظام الشمسي. بينما درجة الحرارة الصغرى المسموح بها في طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  هي (°C)  $T_{min}=60$  ، أي أنه عند قيم تزيد عن درجة الحرارة هذه يستفاد من كامل الطاقة المنتجة من النظام الشمسي.
- تأثير الفقد الحراري من خزان حفظ الطاقة الحرارية وتأثير وجود المبادل الحراري الحلمي .

و بأخذ تأثير الفقد الحراري من خزان حفظ الطاقة الحرارية وتأثير وجود المبادل الحراري الحملية بعين الاعتبار وإجراء المقارنة من جديد عند نفس درجة الحرارة الصغرى ( $T_{min}=20(^{\circ}C)$ ) ينتج لدينا النتائج المدونة في الجدولين (9) و (10) و (11). يظهر من مناقشة النتائج الواردة في هذه الجداول مايلي:

1- تغير قيمة f.L في طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  وفي دمشق من (GJ) 266.5 عند ( $T_{min}=60(^{\circ}C)$ ) إلى 430.7 GJ عند ( $T_{min}=20(^{\circ}C)$ ) ، وبأخذ تأثير الخزان والمبادل الحراري الحملية بعين الاعتبار أصبحت (f.L) مساوية إلى (GJ) 359.8 .

2- تغير قيمة f.L في طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  وفي اللاذقية من (GJ) 241.4 عند ( $T_{min}=60(^{\circ}C)$ ) إلى (GJ) 316.4 عند ( $T_{min}=20(^{\circ}C)$ ) ، وبأخذ تأثير الخزان والمبادل الحراري الحملية بعين الاعتبار أصبحت (f.L) مساوية إلى (GJ) 296.

3- بالمقارنة بين الطريقتين f-Chart ،  $\bar{f}$  و f-Chart نجد أن الطريقة الأولى تعطي متوسطات سنوية للقيم (f.L) أكبر من مثيلاتها للطريقة الثانية بمقدار % 0.39 في دمشق ، وبمقدار % 7.4 في اللاذقية.

كما يدون الجدولان (9) و (10) قيم المتوسطات الشهرية للبارامترات التالية:

- § الطاقة الحرارية المفيدة المنتجة من اللواقط الشمسية  $Q_u$  .
- § المردود الوسطي الشهري والسنوي للواقط الشمسية  $h_{coll}$  .
- § درجة الحرارة الوسطية الشهرية والسنوية عند مدخل اللواقط الشمسية  $\bar{T}_i$  .
- § درجة الحرارة الوسطية الشهرية والسنوية داخل خزان حفظ الطاقة الحرارية  $\bar{T}_s$  .

الجدول (9): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في دمشق

(طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$ ) عند  $T_{min}=20^{\circ}C$

Damascus Slope=33.50° Collector No 1 Ac= 300 (m <sup>2</sup> ) $T_{min}= 20 (^{\circ}C)$ (UA) <sub>T</sub> =5.9 (W/ °C)											
Month	دون الأخذ بعين الاعتبار تأثير الخزان والمبادل الحراري الحملية			مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير الخزان والمبادل الحراري الحملية							
	L (GJ)	f	f.L (GJ)	L (GJ)	f	f.L (GJ)	Q <sub>ST</sub> (GJ)	Q <sub>u</sub> (GJ)	h <sub>coll</sub> %	$\bar{T}_i$ °C	$\bar{T}_s$ °C
Jan	87.78	0.64	56.05	88.26	0.45	39.24	0.48	65.71	0.48	38.08	36.41
Feb	74.69	0.82	60.96	75.16	0.59	43.72	0.47	78.36	0.52	43.64	40.95
Mar	57.51	1	57.51	58.05	0.86	49.2	0.54	101.35	0.55	50.87	44.71
Apr	6.38	1	6.38	7.2	1	6.38	0.82	112.32	0.59	113.74	68.28
May	6.38	1	6.38	7.21	1	6.38	0.83	130.13	0.63	118.62	70.68
Jun	31.51	1	31.51	32.05	1	31.51	0.54	139.07	0.67	83.22	57.7
Jul	32.35	1	32.35	32.88	1	32.35	0.53	144.03	0.69	83.91	58
Aug	32.35	1	32.35	32.93	1	32.35	0.58	150.11	0.68	88.45	60.27

Sep	31.51	1	31.51	32.08	1	31.51	0.57	137.47	0.67	85.48	58.83
Oct	6.38	1	6.38	7.2	1	6.38	0.82	117.88	0.62	115.03	68.88
Nov	59.1	0.94	55.5	59.56	0.72	42.73	0.46	80.55	0.54	44.68	40.65
Dec	82.51	0.65	53.84	82.97	0.46	38	0.46	63.75	0.48	37.73	36
TOT/AVE	508.5		430.7	515.6		359.8	7.1	1320.7	7.1	75.3	53.5

الجدول (10): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في اللانثقية (طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$ )

عند  $T_{min}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Latakia Slope=35.55° Collector No 1 Ac= 300(m <sup>2</sup> ) T <sub>min</sub> = 20 (°C) (UA) <sub>T</sub> =5.9 (W/ °C)												
Month	دون الأخذ بعين الاعتبار تأثير الخزان والمبادل الحراري الحمل			مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير الخزان والمبادل الحراري الحمل								
	L (GJ)	f	f.L (GJ)	L (GJ)	f	f.L (GJ)	Q <sub>ST</sub> (GJ)	Q <sub>u</sub> (GJ)	h <sub>coll</sub> %	$\bar{T}_i$ °C	$\bar{T}_s$ °C	
Jan	46.74	0.88	41.27	47.11	0.69	32.38	0.37	58.31	0.53	39.13	35.63	
Feb	41.81	1	41.81	42.19	0.83	34.6	0.38	68.61	0.56	45.25	39.82	
Mar	31.24	1	31.24	31.76	1	31.24	0.52	93.69	0.58	61.91	46.8	
Apr	6.38	1	6.38	7.12	1	6.38	0.74	105.48	0.62	109.74	66.28	
May	6.38	1	6.38	7.17	1	6.38	0.79	129.32	0.65	117.81	70.27	
Jun	31.51	1	31.51	32	1	31.51	0.49	131.44	0.68	78.93	55.56	
Jul	32.35	1	32.35	32.83	1	32.35	0.48	139.82	0.71	81.27	56.68	
Aug	32.35	1	32.35	32.85	1	32.35	0.5	143.87	0.72	84.82	58.46	
Sep	31.51	1	31.51	32.01	1	31.51	0.5	135.91	0.71	84.3	58.24	
Oct	6.38	1	6.38	7.12	1	6.38	0.74	118.54	0.68	115.18	68.95	
Nov	17.89	1	17.89	18.41	1	17.89	0.52	87.89	0.62	74.78	50.78	
Dec	37.3	1	37.3	37.69	0.89	33.03	0.39	67.85	0.56	44.37	38.37	
TOT/AVE	321.9		316.4	328.3		296	6.4	1280.7	7.6	78.1	53.8	

الجدول (11): المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في دمشق واللانثقية

(طريقة f-Chart وطريقة  $\bar{f}$  ، f-Chart) عند  $T_{min}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Collector No 1 Ac= 300(m <sup>2</sup> ) T <sub>min</sub> = 20 (°C) $\epsilon_L=0.65$ C <sub>min</sub> = 3000(W/ °C) (UA) <sub>T</sub> =5.9 (W/ °C) (UA) <sub>h</sub> =3280 (W/ °C) (UA) <sub>c</sub> = 2636 (W/ °C)				
Month	Damascus Slope=33.50°		Latakia Slope=35.55°	
	L (GJ)	f.L (GJ)	L (GJ)	f.L (GJ)

		طريقة $\bar{f}$ ، f- Chart	طريقة f-Chart		طريقة $\bar{f}$ ، f-Chart	طريقة f-Chart
Jan	87.78	39.24	40.62	46.74	32.38	26.11
<b>Feb</b>	74.69	43.72	45.61	41.81	34.6	29.59
<b>Mar</b>	57.51	49.2	46.9	31.24	31.24	28.59
<b>Apr</b>	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
<b>May</b>	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
<b>Jun</b>	31.51	31.51	31.51	31.51	31.51	31.51
<b>Jul</b>	32.35	32.35	32.35	32.35	32.35	32.35
<b>Aug</b>	32.35	32.35	32.35	32.35	32.35	32.35
<b>Sep</b>	31.51	31.51	31.51	31.51	31.51	31.51
<b>Oct</b>	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
<b>Nov</b>	59.1	42.73	40.18	17.89	17.89	17.89
<b>Dec</b>	82.51	38	38.18	37.3	33.03	26.55
<b>TOT/AVE</b>	<b>508.5</b>	<b>359.8</b>	<b>358.4</b>	<b>321.9</b>	<b>296</b>	<b>275.6</b>

### تأثير مساحة اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل

من أجل المعطيات الثابتة التالية :

- ( طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  )
- زاوية ميل اللواقط الشمسية مساوية لخط العرض Slope=Latitude
- اللاقط المستخدم من النوع الجيد (رقم 1) : Collector No 1
- درجة الحرارة الصغرى الذي يؤمنها النظام الشمسي :  $T_{min}= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

يدون الجدول (12) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق تبعاً لمساحة اللواقط الشمسية ، كما يدون الجدول (13) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في اللاذقية تبعاً لمساحة اللواقط الشمسية. إن هذه القيم الشهرية محسوبة في اليوم المميز لكل شهر. يتضح من هذين الجدولين أنه بازياد مساحة اللواقط تزداد مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل ، ويمكن أن يُغطى الحمل كاملاً ، كحمل تسخين المياه في أشهر نيسان وأيار وتشرين الأول في دمشق واللاذقية عند  $Ac=100(m^2)$  ، وأحمال التكييف جميعها في دمشق واللاذقية عند  $Ac=400(m^2)$ . إن تغطية كامل الحمل السنوي لا يمكن أن يتم إلا بمساحة كبيرة جداً للواقط الشمسية وفي هذه الحالة لا يمكن تحقيق الريعية الاقتصادية من النظام الشمسي من جهة وانخفاض المردود الحراري الاجمالي للواقط من جهة أخرى.

على اعتبار أن طريقة (f-Chart ،  $\bar{f}$ ) لا تؤدي إلى الحصول على المساحة المثلى حرارياً للواقط الشمسية لكن يمكن استنباط هذه المساحة من الجدولين (12) و(13) ، إما انطلاقاً من تحقيق التغطية الكاملة لأحمال التكييف، أو انطلاقاً من تحقيق الجدوى الاقتصادية من النظام الشمسي وذلك بحساب تكاليفه عند مساحات مختلفة من اللواقط الشمسية مضافاً إليها تكاليف الوقود التقليدي اللازم لتأمين باقي الحمل ومقارنتها بتكاليف نظام تقليدي

إذا أمعنا النظر في الجدولين (12) و(13) نجد أنه بزيادة المساحة في دمشق من  $400\text{m}^2$  إلى  $500\text{m}^2$  تزداد مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل بمقدار ضئيل من % 51 إلى % 54.7. كما نجد أنه بزيادة المساحة في اللاذقية من  $300\text{m}^2$  إلى  $400\text{m}^2$  تزداد مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل بمقدار ضئيل من % 66.4 إلى % 74.4. إن هذه الزيادة الكبيرة في مساحة اللواقط الشمسية لا يمكن تبريرها اقتصادياً بالزيادة المقابلة في مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل. وتعتبر نسبة مساهمة الطاقة الشمسية في تأمين الحمل التي تتراوح بين 50% إلى 65% مقبولة من وجهة النظر الاقتصادية .

الجدول (12): تأثير مساحة اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق

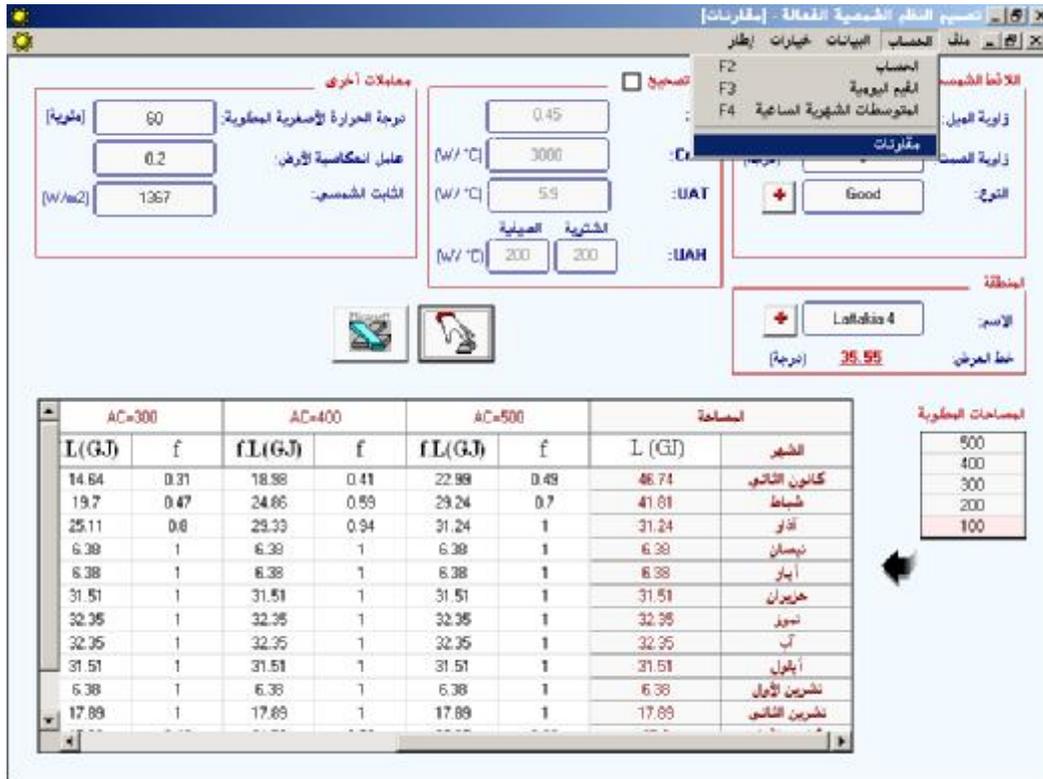
Damascus Slope=33.50° Collector No 1 T <sub>min</sub> = 60 °C											
Month	L (GJ)	Ac= 100 m <sup>2</sup>		Ac= 200 m <sup>2</sup>		Ac= 300 m <sup>2</sup>		Ac= 400 m <sup>2</sup>		Ac= 500 m <sup>2</sup>	
		f.L (GJ)	f								
Jan	87.78	4.99	0.06	9.9	0.11	14.24	0.16	17.99	0.2	21.35	0.24
Feb	74.69	7.34	0.1	13.89	0.19	19.29	0.26	23.87	0.32	27.83	0.37
Mar	57.51	10.26	0.18	18.71	0.33	25.29	0.44	30.6	0.53	34.98	0.61
Apr	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
May	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
Jun	31.51	15.39	0.49	24.24	0.77	29.4	0.93	31.51	1	31.51	1
Jul	32.35	16.01	0.49	25.14	0.78	30.44	0.94	32.35	1	32.35	1
Aug	32.35	17.37	0.54	26.74	0.83	31.98	0.99	32.35	1	32.35	1
Sep	31.51	15.8	0.5	24.8	0.79	29.98	0.95	31.51	1	31.51	1
Oct	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
Nov	59.1	7.19	0.12	13.57	0.23	18.8	0.32	23.2	0.39	26.97	0.46
Dec	82.51	4.65	0.06	9.27	0.11	13.37	0.16	16.93	0.21	20.1	0.24
<b>TOTAL</b>	<b>508.5</b>	<b>118.1</b>		<b>185.4</b>		<b>231.9</b>		<b>259.5</b>		<b>278.1</b>	

الجدول (13): تأثير مساحة اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في اللاذقية

Latakia Slope=35.55° Collector No 1 T <sub>min</sub> = 60 °C											
Month	L (GJ)	Ac= 100 m <sup>2</sup>		Ac= 200 m <sup>2</sup>		Ac= 300 m <sup>2</sup>		Ac= 400 m <sup>2</sup>		Ac= 500 m <sup>2</sup>	
		f.L (GJ)	f								
Jan	46.74	4.04	0.09	8.09	0.17	11.68	0.25	14.74	0.32	17.5	0.37
Feb	41.81	5.85	0.14	11.14	0.27	15.44	0.37	19.07	0.46	22.16	0.53
Mar	31.24	8.79	0.28	15.64	0.5	20.57	0.66	24.25	0.78	27.1	0.87
Apr	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
May	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
Jun	31.51	13.99	0.44	22.54	0.72	27.74	0.88	31.27	0.99	31.51	1
Jul	32.35	15.14	0.47	24.1	0.74	29.42	0.91	32.35	1	32.35	1

<b>Aug</b>	32.35	16.2	0.5	25.38	0.78	30.67	0.95	32.35	1	32.35	1
<b>Sep</b>	31.51	15.49	0.49	24.4	0.77	29.59	0.94	31.51	1	31.51	1
<b>Oct</b>	6.38	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1
<b>Nov</b>	17.89	7.63	0.43	12.76	0.71	15.95	0.89	17.89	1	17.89	1
<b>Dec</b>	37.3	5.04	0.14	9.73	0.26	13.66	0.37	16.97	0.45	19.8	0.53
<b>TOTAL</b>	<b>321.9</b>	<b>111.3</b>		<b>172.9</b>		<b>213.9</b>		<b>239.5</b>		<b>251.3</b>	

وبين الشكل رقم (6) نافذة من البرنامج المصمم يوضح فيه النتائج التي يمكن الحصول عليها عند دراسة تأثير مساحة اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في منطقة ما:



الشكل رقم (6) نتائج دراسة تأثير مساحة اللواقط على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل

### تأثير نوع اللاقط الشمسي على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل

من أجل المعطيات الثابتة التالية :

- ( طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  )
- زاوية ميل اللواقط الشمسية مساوية لخط العرض : Slope=Latitude
- مساحة اللواقط الشمسية :  $A_c = 300 \text{ m}^2$
- درجة الحرارة الصغرى الذي يؤمنها النظام الشمسي :  $T_{\min} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

يدون الجدول (14) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق وفي اللاذقية تبعاً لنوع اللاقط الشمسي. إن اللواقط الشمسية الثلاثة المختارة موصفة في الجدول (3). يتضح من الجدول (14) أن اللاقط رقم (1) يعطي أعلى مساهمة للطاقة الشمسية يليه اللاقط رقم (2) ثم اللاقط رقم (3). إن نوعية اللاقط الشمسي وأدائه الحراري يلعبان دوراً كبيراً في نسبة المساهمة الشمسية. ففي دمشق تصل هذه النسبة إلى 45.6% باستخدام اللاقط رقم (1) ، بينما تصل هذه النسبة إلى 24 % باستخدام اللاقط رقم (3). وفي اللاذقية ، تصل هذه النسبة إلى 66.4 % باستخدام اللاقط رقم (1) ، بينما تصل هذه النسبة إلى 37.2 % باستخدام اللاقط رقم (3) .

الجدول (14): تأثير نوع اللاقط الشمسي على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق واللاذقية

$A_c = 300 \text{ m}^2$ $T_{\min} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varepsilon_L = 0.65$ $C_{\min} = 3000 \text{ (W/ }^\circ\text{C)}$ $(UA)_T = 5.9 \text{ (W/ }^\circ\text{C)}$								
Month	Damascus    Slope=33.50°				Latakia    Slope=35.55°			
	L (GJ)	f.L (GJ)			L (GJ)	f.L (GJ)		
Collector 1		Collector 2	Collector 3	Collector 1		Collector 2	Collector 3	
Jan	87.78	14.24	9.52	3.63	46.74	11.68	8.02	3.28
Feb	74.69	19.29	13.93	6.46	41.81	15.44	11.36	5.46
Mar	57.51	25.29	19.14	9.87	31.24	20.57	16.14	8.77
Apr	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
May	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
Jun	31.51	29.4	25.35	17.16	31.51	27.74	23.72	15.85
Jul	32.35	30.44	26.45	18.34	32.35	29.42	25.51	17.7
Aug	32.35	31.98	28.12	20	32.35	30.67	26.94	19.27
Sep	31.51	29.98	26.04	17.95	31.51	29.59	25.88	18.3
Oct	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
Nov	59.1	18.8	13.62	6.32	17.89	15.95	13.17	7.63
Dec	82.51	13.37	8.87	3.29	37.3	13.66	9.69	4.22
<b>TOTAL</b>	<b>508.5</b>	<b>231.9</b>	<b>190.2</b>	<b>122.2</b>	<b>321.9</b>	<b>213.9</b>	<b>179.6</b>	<b>119.6</b>

#### تأثير زاوية ميل اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل

من أجل المعطيات الثابتة التالية :

• ( طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  )

Collector No 1

• اللاقط المستخدم هو رقم (1):

$A_c = 300 \text{ m}^2$

• مساحة اللواقط الشمسية:

$T_{\min} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

• درجة الحرارة الصغرى الذي يؤمنها النظام الشمسي:

يدون الجدولان (15) و(16) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق واللاذقية على الترتيب تبعاً لقيم مختارة لزاوية ميل اللواقط الشمسية تتراوح بين  $10^\circ$  و  $60^\circ$ . يُلاحظ من هذا الجدول أن أعلى معدل سنوي للمساهمة الشمسية يتحقق عند زاوية ميل قريبة من  $33^\circ$  في دمشق و  $35^\circ$  في

اللاذقية ، أي أن اختيار زاوية ميل مساوية لزاوية خط العرض الجغرافي للمنطقة هو اختيار جيد للحصول على أعلى معدل سنوي للمساهمة الشمسية .

الجدول (15): تأثير زاوية ميل اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق

Damascus Slope=33.50° A <sub>C</sub> = 300 m <sup>2</sup> Collector No 1													
T <sub>min</sub> = 60 °C (UA) <sub>T</sub> =5.9 W/ °C													
Month	L(GJ)	Slope =10°		Slope =20°		Slope=33.5		Slope =40°		Slope =50°		Slope =60°	
		f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)
Jan	87.78	0.07	5.96	0.11	9.99	0.16	14.24	0.18	15.56	0.19	16.63	0.19	16.53
Feb	74.69	0.16	12.19	0.21	16.01	0.26	19.29	0.27	20.06	0.27	20.21	0.26	19.1
Mar	57.51	0.38	21.65	0.42	24.13	0.44	25.29	0.43	24.99	0.41	23.45	0.36	20.59
Apr	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
May	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
Jun	31.51	1	31.51	1	31.51	0.93	29.4	0.87	27.45	0.73	23.09	0.53	16.61
Jul	32.35	1	32.35	1	32.35	0.94	30.44	0.89	28.66	0.76	24.68	0.58	18.72
Aug	32.35	1	32.35	1	32.35	0.99	31.98	0.95	30.8	0.87	28.02	0.73	23.59
Sep	31.51	0.9	28.48	0.94	29.73	0.95	29.98	0.94	29.56	0.89	28.15	0.81	25.61
Oct	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
Nov	59.1	0.16	9.57	0.24	14.33	0.32	18.8	0.34	20.13	0.36	21.12	0.35	20.83
Dec	82.51	0.06	4.83	0.11	8.91	0.16	13.37	0.18	14.83	0.2	16.14	0.2	16.3
<b>TOTAL</b>	<b>508.5</b>		<b>198</b>		<b>218.5</b>		<b>231.9</b>		<b>231.2</b>		<b>220.6</b>		<b>197</b>

الجدول (16): تأثير زاوية ميل اللواقط الشمسية على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في اللاذقية

Latakia Slope=35.55° A <sub>C</sub> = 300 (m <sup>2</sup> ) Collector No 1													
T <sub>min</sub> = 60 (°C) (UA) <sub>T</sub> =5.9 (W/ °C)													
Month	L (GJ)	Slope =10°		Slope =20°		Slope =35.55°		Slope =40°		Slope =50°		Slope =60°	
		f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)	f	f.L (GJ)
Jan	46.74	0.1	4.75	0.17	7.94	0.25	11.68	0.26	12.34	0.28	13.24	0.28	13.26
Feb	41.81	0.23	9.76	0.3	12.68	0.37	15.44	0.38	15.82	0.38	16	0.36	15.26
Mar	31.24	0.57	17.85	0.63	19.67	0.66	20.57	0.65	20.42	0.62	19.44	0.56	17.52
Apr	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
May	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
Jun	31.51	0.99	31.31	0.97	30.56	0.88	27.74	0.84	26.48	0.72	22.62	0.54	17.03
Jul	32.35	1	32.35	0.99	31.94	0.91	29.42	0.87	28.27	0.76	24.73	0.6	19.49
Aug	32.35	0.99	31.96	0.99	32.04	0.95	30.67	0.92	29.91	0.85	27.44	0.73	23.58
Sep	31.51	0.89	28.02	0.93	29.3	0.94	29.59	0.93	29.32	0.89	28.1	0.82	25.9
Oct	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38	1	6.38
Nov	17.89	0.53	9.4	0.72	12.97	0.89	15.95	0.92	16.42	0.95	16.98	0.95	16.97
Dec	37.3	0.13	4.91	0.24	8.93	0.37	13.66	0.39	14.56	0.43	15.86	0.43	16.17
<b>TOTAL</b>	<b>321.9</b>		<b>189.5</b>		<b>205.2</b>		<b>213.9</b>		<b>212.7</b>		<b>203.6</b>		<b>184.3</b>

تأثير درجة الحرارة  $T_{min}$  على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل

من أجل المعطيات الثابتة التالية :

. ( طريقة f-Chart ،  $\bar{f}$  )

. زاوية ميل اللواقط الشمسية مساوية لخط العرض Slope=Latitude

. اللاقط المستخدم هو رقم (1): Collector No 1

. مساحة اللواقط الشمسية:  $A_c = 300 \text{ m}^2$

يدون الجدول (17) المعدلات الشهرية والمعدل السنوي لمساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق وفي اللاذقية تبعاً لثلاث قيم مختارة لدرجة الحرارة الصغرى المطلوبة من النظام الشمسي  $T_{min}$  هي  $60^\circ\text{C}$  و  $70^\circ\text{C}$  و  $80^\circ\text{C}$ . يُلاحظ من هذا الجدول أنه بزيادة درجة الحرارة هذه يتناقص المعدل السنوي للمساهمة الشمسية. فعندما تزداد درجة الحرارة من  $60^\circ\text{C}$  إلى  $80^\circ\text{C}$  يتناقص هذا المعدل في دمشق بمقدار % 44.6 ، كما يتناقص في اللاذقية بمقدار % 47.6.

الجدول (17): تأثير درجة الحرارة  $T_{min}$  على مساهمة الطاقة الشمسية في تغطية الحمل في دمشق واللاذقية

Ac= 300 m <sup>2</sup> Collector No 1 (UA) <sub>T</sub> =5.9 W/ °C								
Month	Damascus Slope=33.50°				Latakia Slope=35.55°			
	L (GJ)	f.L (GJ)			L (GJ)	f.L (GJ)		
		T <sub>min</sub> =80 °C	T <sub>min</sub> =70 °C	T <sub>min</sub> =60 °C		T <sub>min</sub> =80 °C	T <sub>min</sub> =70 °C	T <sub>min</sub> =60 °C
Jan	87.78	6.52	9.9	13.79	46.74	5.09	7.97	11.68
Feb	74.69	10.52	14.55	18.56	41.81	8.06	11.46	15.44
Mar	57.51	14.97	19.83	24.33	31.24	12.35	16.34	20.57
Apr	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
May	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
Jun	31.51	21.06	25.4	28.61	31.51	19.18	23.57	27.74
Jul	32.35	21.96	26.37	29.63	32.35	20.77	25.24	29.42
Aug	32.35	23.98	28.18	31.19	32.35	22.4	26.71	30.67
Sep	31.51	22.11	26.21	29.22	31.51	21.6	25.75	29.59
Oct	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38	6.38
Nov	59.1	9.82	13.97	18.13	17.89	10.03	13.06	15.95
Dec	82.51	5.9	9.16	12.96	37.3	6.3	9.6	13.66
<b>TOTAL</b>	<b>508.5</b>	<b>156</b>	<b>192.7</b>	<b>225.6</b>	<b>321.8</b>	<b>144.9</b>	<b>178.8</b>	<b>213.9</b>

## الاستنتاجات

1. بالمقارنة بين الطريقتين (f-Chart ،  $\bar{f}$ ) و (f-Chart) نجد أن الطريقة الأولى تعطي متوسطات سنوية للقيم (f.L) أكبر من مثيلاتها للطريقة الثانية بمقدار % 0.39 في دمشق ، وبمقدار % 7.4 في اللاذقية. يعتبر هذا التقارب جيداً.
2. إن تحديد المساحة المثلى للواقط الشمسية حرارياً واقتصادياً يتطلب إجراء تحليل اقتصادي للنظام الشمسي المعتمد .
3. إن نوعية اللاقط الشمسي وأدائه يلعبان دوراً كبيراً في نسبة المساهمة الشمسية.
4. إن اختيار زاوية ميل اللاقط الشمسي مساوية لزاوية خط العرض للمنطقة هو اختيار جيد للحصول على أعلى معدل سنوي للمساهمة الشمسية .
5. إن استخدام برنامج حاسوبي غير معقد كالبرنامج المطور في هذا البحث يمكن أن يحل محل البرامج التصميمية التجارية كالبرنامج ذائع الصيت TRNSYS ، خاصة وأن هذا البرنامج يستخدم معظم المعادلات الواردة في هذا البحث. لكن في هذه الحالة ينبغي إجراء مقارنة بين البرنامج المطور في هذا البحث وهذا البرنامج التجاري للوقوف على مدى صلاحية استخدامه في تصميم النظم الشمسية الحرارية بمختلف أحجامها.
6. يعتبر هذا العمل الموثق في هذه الورقة العلمية جزءاً أساسياً من بحث علمي يجري تحضيره في مجال التبريد الامتصاصي بالطاقة الشمسية لنيل شهادة الماجستير.

## المراجع:

- .....
- [ 1 ]: J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Willey & Sons, Inc. Pages 919,1991.
- [ 2 ]: S.A. Klein, Calculation of the Monthly Average Transmittance-Absorptance. Solar Energy, Vol 23,pp. 547-551,1979.
- [ 3 ]: أطلس الإشعاع الشمسي لسورية (1994).
- [ 4 ]: دراسة المركز الإيطالي لأبحاث الطاقة (CISE) الذي نفذ بالتعاون مع مركز الدراسات والبحوث العلمية عن إمكانية تصنيع تجهيزات الطاقة الشمسية في سورية (1985).
- [ 5 ]: برنامج حاسوبي لتصميم الأنظمة الكهروضوئية ويتضمن معطيات مناخية عن العديد من المحطات المناخية في معظم دول العالم وهو متوفر في مركز الدراسات والبحوث العلمية (PVC for Windows-version 1.8), 1990.
- [ 6 ]: A.A.M. Sayigh, The Iso-Radiation Map for the Arab Region. Solar & Wind Technology, Vol 4, No.2, pp. 163-177,1987.