أنظمة التسخين الشمسي /1/

أنظمة التسخين الشمسي /1/

لطلاب السنة الخامسة-
شعبة الطاقات المتجددة-

قسم الميكانيك العام

منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

أنظمة التسخين الشمسي /1/

تأليف

الدكتورة المهندسة أمينه فارس

الأستاذ المساعد في قسم الميكانيك العام

جامعة دمشق

1437 – 1436

2016 – 2015م

أنظمة التسخين الشمسي /1/

الفهرس

الفهرس 5
المقدمة 11
الفصل الأول 15
الإشعاع الشمسي 15
Solar Radiation 15
1. آلية نقل الطاقة: 17
1.1. الشمس: 17
2.1. الثابت الشمسي: 19
3.1 توزيع طيف الإشعاع خارج الغلاف الجوي: 22
4.1. تعاريف: 23
5.1 الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة على الأرض: 26
6 .1 البيانات المناخية المتاحة: 31
1.6.1السنوات المرجعية التجريبية Years Test Reference : 31
2.6.1 مولد بيانات المناخWeather data generators : 31
7.1. حساب الإشعاعية على مستو مائل: 32
7.1. 1. الإشعاع المباشر على السطوح المائلة: 32
2.7.1. نسبة حزمة الإشعاع على سطح مائل لمثلها على سطح أفقي: 41
3.7.1. الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر : 43
4.7.1 الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي على سطح أفقي : 47
مكونات أنظمة التسخين الشمسية 49
Components of solar thermal plants 49

1.2. المجمع الشمسي (The Collector): 51
1.1.2. مكونات المجمع : 51
1.1.1.2. الماص (The Absorber): 51
2.1.1.2 الغطاء الشفاف (The cover): 56
3.1.1.2 صندوق المجمع(Collector box): 57
4.1.1.2 مكونات أخرى (Other component): 58
5.1.1.2 . توزع اللواقط على سطح البناء : 58
2.1.2. أنواع المجمعات وتطبيقاتها العملية: 59
(Collector types and practical applications) 59
1.2.1.2. مجمعات مسطحة غير مركزة (سائلة). 59
2.2.1.2. مجمعات مسطحة غير مركزة (هوائية): 65
3.2.1.2. المجمعات المركّزة للإشعاع (الهواء أو السائل): 67
3.1.2. توازن الطاقة في المجمع الشمسي 69
(Energy balance of the solar collect): 69
4.1.2. البيانات والمنحني المميّز للمجمع: 74
Collector data and characteristics curves 74
2.2. الدارات الهيدروليكية للمجمع (Collector Hydraulics): 84
3.2. ناقل الحرارة (Heat carrier): 87
2. 4.دارة المجمع (Collector Loop): 89
2. 4 .1 الأنابيب (Pipes): 89
2.4.2. المبادل الحراري (Heat exchangers): 91
3.4.2 المضخات (Pumps): 93

4.4.2. جهاز تفريغ الدارة من الهواء (Deventing device): 94
5.4.2 أوعية التمدد (Expansion vessels): 95
6.4.2. صمامات الأمان (Safety valves) : 97
7.4.2.مجموعة المضخة (Pump Group): 98
8.4.2 ركود المجمعات الشمسية: 100
(Stagnation of solar collectors) 100
5.2. نظام التحكم (Control Systems): 104
1.5.2 نظام التصريف الخلفي(The Drain-Back system): 105
2.5.2 التبريد ليلاً (Night cooling): 108
3.5.2. إزالة الحرارة (Heat sink) : 109
6.2. التخزين الحراري (Heat storage): 109
1.6.2 مدة التخزين : 110
2.6.2.الخزانات الصلبة والخزانات الحرارية الذاتية: 113
(Solid stores and passive heat stores) 113
3.6.2. تخزين الماء الساخن (Hot water stores): 113
4.6.2 خزانات الماء الساخن للتجهيزات الشمسية : 116
1.4.6.2 خزانات أجهزة الدوران القسرية 117
5.6.2 المبادلات الحرارية في الخزانات المائية : 118
6.6.2. مدخل ومخرج خزانات الماء: 120
7.6.2 أجهزة ترتيب الطبقات (Stratifying devices): 122
7.2. المواد المتغيرة الطور: 124
1.7.2.المركبات العضوية: 127

2.7.2.المركبات اللاعضوية: 128
PCM.3.7.2 الانصهاري (Eutectics): 129
3.7.2.تخزين الحرارة الكامنة (Latent heat store): 130
4.7.2.المبادئ التشغيلية لنظم TES الكامنة. 131
5.7.2. متطلبات المواد المتغيرة الطور(PCMs): 132
6.7.2.معايير لاختيار المواد المتغيرة الطور: 132
7.7.2. اختيار PCM من أجل TES الكامن: 134
الفصل الثالث 135
المتطلبات الصحيّة للمياه الساخنة المنزلية 135
Hygienic requirements for domestic hot water 135
1.3كائنات عضوية دقيقة ضارة (Legionella): 137
1.1.3. المظاهر العامة: 137
2.1.3 العدوى والأعراض في الكائنات الحية: 139
3.1.3 التجهيزات تبعاً للخطورة : 139
4.1.3 السيطرة على Legionella : 139
5.1.3 تجنب Legionella باستخدام الدارات الهيدروليكية المناسبة: 140
الفصل الرابع 143
مخططات استهلاك الحرارة والأحمال 143
Loads and Heat consumption profiles 143
1.4. متطلبات الماء الساخن المنزلي: 145
2.4.مخططات استهلاك الماء الساخن: 146
3.4 مخططات حمل DHW بمقياس زمني 6 min : 155

4.4 مخططات حمل DHW على مقياس ساعة: 159
5.4. ملاحظات نهائية: 159
الفصل الخامس 161
تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الفعالة ونمذجتها 161
Design and Simulation of Solar Active Systems 161
1.5. مقدمة: 163
2.5. طريقة (f –chart) وبرنامجها: 164
1.2.5. أداء أنظمة التسخين الشمسية السائلة وتصميمها: 171
2.2.5. تعيين مساحة اللواقط المثلى حرارياً : 180
A.2.2.5–تصحيح سعة التخزين: 182
B.2.2.5. تصحيح معدل التدفق في المجمع: 184
C.2.2.5. تصحيح حجم المبادل الحراري: 185
3.2.5.حساب حمل المياه الساخنة وحمل التدفئة: 195
4.2.5.أداء أنظمة تسخين الهواء بالطاقة الشمسية وتصميمها: 201
A.4.2.5. تصحيح حجم خزان فرشة الحصى: 205
B.4.2.5. تصحيح نسبة تدفق الهواء: 207
5.2.5.أداء أنظمة التسخين الشمسية لماء الاستعمال DHW وتصميمها: 210
5.2.5. ملاحظات عامة : 214
3.5. طريقة الفائدة (Utilizability Methods) : 215
1.3.5. الفائدة الساعية (Hourly Utilizability): 216
4.5 : طريقة f –Chart، $\overline{\phi}$ 246
1.4.5 تعديل الضياعات في خزان التخزين : 266

2.4.5. تعديل المبادل الحراري: 273

5.5. طريقة نسبة التغطية: 282

6.5. طريقة كفاءة اللاقط (المردود): 282

7.5. الخلاصة : 283

الملحق 285

المراجع العلمية 291

الرموز والمصطلحات 295

المقدمة

يلاحظ لدى قراءة التاريخ البشري من وجهة نظر الطاقة أن الحضارة الأقوى في التاريخ هي تلك التي كانت تجيد استعمال الطاقة بشكل أكثر فاعلية وإنتاجاً من الحضارات الأخرى . ويلاحظ أهمية الطاقة في تشكيل التاريخ البشري عند النظر إلى تاريخ العالم في القرون الثلاثة الماضية ففي تلك الفترة كان الإنسان يدخل عصر استعمال الفحم الحجري كمصدر للطاقة بديلا عن الأخشاب وقد تطورت الأمم التي تمتلك الفحم الحجري أكثر من غيرها فقد أصبحت بريطانيا إحدى أقوى الدول بفضل ذلك، إلا أن اكتشاف النفط واستعماله مصدراً بديلاً للفحم قد جعله أفضل مصادر الطاقة وأعطى للمتعاملين معه إمكانية أوسع للتفوق وهكذا ترافق صعود الولايات المتحدة قوة عظمى مع اكتشافها للنفط واستخدامه. وفي العقود القليلة الماضية دخل الإنسان عصر الذرة وظهر الاتحاد السوفييتي قوة كبرى أخرى في العالم.

وبالطبع لم يكن توفر الطاقة ومصادرها هو العامل الحاسم في التاريخ البشري إذ إن كل المصادر المعروفة للطاقة كانت في الطبيعة منذ أن وجد الإنسان. بل إن العامل الحاسم والمهم كان وسيبقى قدرة استغلال هذه المصادر المعروفة للطاقة وتطويعها لخدمة أغراضه.

من هنا نجد أن اكتشاف الإنسان للطاقة واستخدامها كان يزيد من معارفه ويوسع مداركه ويزيد من قدرته على السيطرة على الطبيعة وفي الوقت نفسه يزيد من قدرته على اكتشاف مصادر جديدة للطاقة وبهذا فإن موضوع الطاقة أخذ شكل سلسلة متطورة للوصول إلى حلقات أخرى، فمثلاً دخل الإنسان عصر الفحم الحجري الذي ساهم بشكل كبير في الثورة الصناعية في أوروبا وفي نهاية القرن التاسع عشر ظهرت تحذيرات من انخفاض المخزون العالمي للفحم الحجري وحينها كان العالم يدخل عصر النفط ولم تمض فترة قرن واحد حتى دقت أجراس الخطر المحذرة من نضوب مكامن النفط في هذه المرحلة التي نشهدها حاليا دخل الإنسان عصر الطاقة النووية وازداد الحديث ليس فقط عن الانشطار النووي بل أيضا عن طاقة الاندماج النووي في محاولة لتقليد مايحدث في الشمس .

والقاسم المشترك في مصادر الطاقة الأحفورية والنووية أنها قابلة للاستنزاف ذلك أنها موجودة في الطبيعة بكميات محدودة ستستهلك عاجلا أم آجلا، و يتحدد معدل استهلاك هذه المصادر بمعدلات استهلاك العالم منها، تلك المعدلات التي تشير إلى أن العالم مقبل على استنزاف معظم

ما يملك في المستقبل المنظور، ولا يتوقف الأمر عند هذا بل إن كلفة إنتاج المخزون من هذه المصادر ستتصاعد بدرجة كبيرة نتيجة للجهد الكبير و الاستثمارات الضخمة المطلوبة لإنتاجها .

إن بدائل المصادر الأحفورية هي الطاقات والموارد الأولية المتجددة. هذه المصادر هي حرارة الشمس وضوءها أي الطاقة الشمسية، وقوة جريان المياه أي الطاقة المائية، والطاقة العضوية، وطاقة الرياح. إن المصدر المباشر المشترك بين كل المصادر الطاقية المتجددة هو الإشعاع الشمسي. ترسل الشمس للكرة الأرضية طاقة بحجم أكبر ب 15000 مرة الاستهلاك السنوي العالمي من الطاقة الأحفورية والنووية معا. إذاً فمن الممكن أن نستبدل مجموع المصادر الأحفورية بالمصادر الشمسية. للمصادر الشمسية ثلاث خصائص مشتركة:

أولا : لا تنضب المصادر الشمسية ما دام النظام الشمسي قائماً طول عمر الأرض، ولذلك فهي ستظل متوفرة لملايين السنين، وبهذه المصادر يمكن للعالم أن يتجنب الأزمة الإيكولوجية العالمية.

ثانيا : حين تحويلها إلى طاقة ومادة ثانوية أي على شكل حرارة أو كهرباء أو وقود، عموماً ليس هناك انبعاثات، إلا في حالة الطاقة العضوية، وهذه الانبعاثات تظل ضئيلة ولا تشكل أي خطر.

ثالثا : المصادر الشمسية موجودة في كل مكان، كلها أو بعضها، ويجب أن يكون استغلالها ذا طابع محلي وغير متمركز.

من منظور التاريخ الحضاري، العصر الشمسي يعلن بداية التخلي عن الحواضر العملاقة أي عن مدن بملايين السكان وعن المؤسسات المتعددة الجنسية والعودة إلى المدن الصغيرة والمتوسطة. وبما أن الأنشطة الاقتصادية مرتبطة وتتموضع دائماً قرب مصادر الطاقة، فالتوجه الناتج عن خصائص الطاقة الشمسية ومشتقاتها إلى إنتاج غير مركز للطاقة ينتج عنه عرض غير متمركز للطاقة وبالتالي للمؤسسات الاقتصادية. إن الاقتصاد الشمسي العالمي سيجعل من المستحيل تقنياً تمركز المصادر ورؤوس الأموال. وباعتبار الطاقة الشمسية غير محدودة، يصبح من الممكن لنموذج الحضارة المستديمة أن يتحقق وأن ينمو ويتطور. وبما أنه ليس بإمكان أحد خصصة الشمس، فلا يمكن لأي كان أن يهدد عناصر هذا النموذج الحضاري. استبدال المصادر الأحفورية بالمصادر الشمسية مشروع تاريخي. فلا يمكن تجاوز التحكم غير العادل للاقتصاد الأحفوري العالمي إلا بقاعدة المصادر الشمسية. ومادام مفهوم الاقتصاد يتجه نحو المصادر الأحفورية، فإنه يمكن تكريس أنانية المصادر ونتائجها الهدامة للبيئة. ولا يمكن أن نرقى إلى اقتصاد إيكولوجي من دون قاعدة المصادر الشمسية.

أنظمة التسخين الشمسي /1/

الشمس هي مصدر هام في حياة الأرض إذ لولاها لما وجدت الحياة بشكلها الحالي على سطح كوكبنا ، وقد أدرك الإنسان منذ القدم أهمية الشمس في حياته فلم يدخر وسعاً طوال تاريخه في أن يدرس حركتها وأن يعمل باستمرار على كشف المزيد والمزيد من الحقائق المحيطة بها. و رغم استمرار الاهتمام بموضوع الأفران الشمسية ونجاح العلماء في تقديم تصاميم مختلفة منها لأغراض الطبخ أو صهر المعادن فقد ظهرت أفكار جديدة تختلف عما اعتاد عليه علماء الفترة السابقة.

لم تتوقف جهود العلماء في أواخر القرن التاسع عشر عند حدود بناء الآلات البخارية الشمسية بل أخذوا في البحث عن أساليب وتطبيقات جديدة ، فقد تم إنشاء جهاز لتقطير الماء والحصول على المياه العذبة في مدينة لاس ساليناس في تشيلي، وكانت مساحة المقطّر 4700 متر مربع وينتج 23 ألف ليتر من الماء العذب في الأيام المشمسة، أما التطور المهم الآخر الذي حصل فهو الفكرة التي طرحها وستون حول توليد الكهرباء مباشرة من الأشعة الشمسية وذلك باستعمال المزدوجات الحرارية.

في ثلاثينيات القرن الماضي أخذ العلماء يهتمون باستخدام الطاقة الشمسية لتلبية متطلبات الأبنية واحتياجاتها من المياه الساخنة وتدفئتها بالطاقة الشمسية، فقد شهد عقد الثلاثينيات اتساع الاهتمام بالسخانات الشمسية في اليابان ذلك أن مصادر الطاقة في هذا البلد قليلة، ومما ساعد على انتشار هذه الظاهرة أن العالم شهد أزمة اقتصادية واسعة شملت معظم دوله في أوائل الثلاثينيات. وأما الاتجاه الآخر فقد انصب على تدفئة البيوت بالطاقة الشمسية .إن اتجاه علماء الثلاثينيات في القرن الماضي نحو استخدام الطاقة الشمسية في التدفئة وتسخين المياه يكتسب أهمية خاصة ذلك أن هذه التطبيقات تندرج تحت مايسمى تطبيقات درجة الحرارة المنخفضة أقل من 50 درجة مئوية ولكن عصر الطاقة الرخيصة لم يستمر طويلاً إذ سرعان ما حصلت تطورات جذرية على صعيد وضع الطاقة العالمي في أوائل سبعينيات القرن الماضي نتج عنها زيادة أسعار مصادر الطاقة بمختلف أشكالها من فحم وغاز ونفط ، وقد ترافق مع هذا ازدياد الوعي بأن مصادر الطاقة الأحفورية محدودة الأجل ولا يمكن الاستمرار في استنزافها وتبذيرها، وأنه لا مناص من البحث عن مصادر أكثر ديمومة من النفط ومشتقاته. وقد ترتب على هذا أن احتلت الطاقة الشمسية مركز الصدارة باعتبارها المصدر المرشح لتلبية بعض احتياجات البشر من الطاقة على المدى القصير مع توفر إمكانات أن تتسع مساهمتها في المستقبل .

أنظمة التسخين الشمسي /1/

شهدت فترة السبعينيات وحتى وقتنا الحاضر انتشار أبحاث الطاقة وأنشئت مراكز أبحاث كثيرة حول العالم والكثير من الشركات المتخصصة في إنتاج معدات الطاقة الشمسية.

وفي هذا الكتاب شرح مفصل عن الشمس وتركيبها والإشعاع الشمسي وكمية الطاقة الشمسية الممكن الحصول عليها وذلك باستخدام مايسمى نظام التسخين الشمسي حيث يمثل المجمع الشمسي المكون الرئيسي لهذا النظام، ويقدم الكتاب أنواعاً مختلفة لهذه المجمعات الشمسية (المسطحة والمفرغة والمركزة للإشعاع)، ويبين كذلك أنواع هذه المجمعات حسب نوع الوسيط الناقل للحرارة (السائلة والهوائية). ويقدم الكتاب أيضاً وبالتفصيل كل جزء من هذا النظام الشمسي، ويبين ماهي المتطلبات الصحية المطلوبة لتركيب مثل هذه الأنظمة وماهي المتطلبات الضرورية لاستهلاك المياه ومخططات استهلاك الحرارة والأحمال، وأخيراً يبين الكتاب التصميم المثالي لمثل هذه الأنظمة باستخدام طرق مختلفة معروفة عالمياً.

أرجو أن أكون قد وفقت بتقديم الفائدة العلمية المرجوة من هذا الكتاب راجية التوفيق لكل من يتمكن من قراءته.

د.م.أمينه فارس

الفصل الأول

الإشعاع الشمسي

Solar Radiation

أنظمة التسخين الشمسي /1/

الإشعاع الشمسي

1. آلية نقل الطاقة:

إن تركيب الشمس وخواصها يحددان إشعاع الطاقة الطبيعية إلى الفراغ.

يحتوي الموضوع الأساسي الأول في هذا الفصل على خصائص هذه الطاقة خارج الغلاف الجوي وشدة الإشعاع وتوزع الطيف. سنركّز بشكل رئيسي على الإشعاع الذي طول موجته في المجال ما بين ($0.25 - 3.0\ \mu m$)، وهو الجزء من الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يشمل معظم الطاقة المنبعثة من الشمس.

الموضوع الأساسي الثاني في هذا الفصل هو هيئة الشمس على سبيل المثال: موضع الشمس في السماء، جهة ورود الإشعاع المباشر على السطح باتجاهات مختلفة، والتظليل.

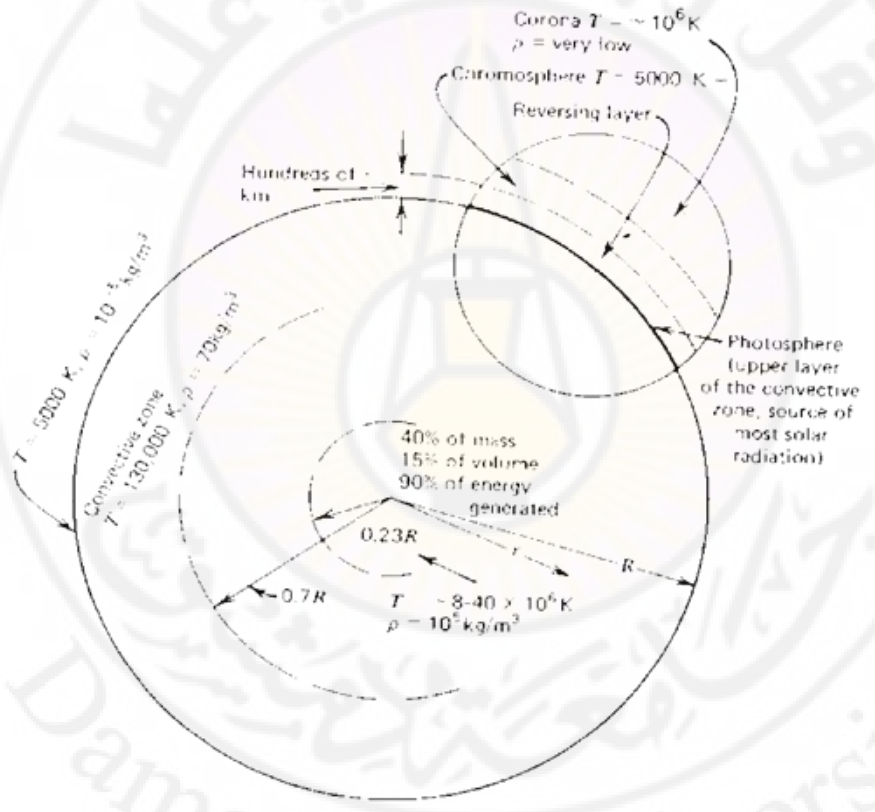
الموضوع الرئيسي الثالث هو سقوط إشعاع الغلاف الجوي على سطح أفقي، والذي يمثّل الإشعاع الشمسي النظري الحدي الموجود على سطح الأرض. إنّ فهم طبيعة إشعاع الغلاف الجوي وتأثيرات توجيه السطح المستقبل والإشعاع الممكن النظري على سطح الأرض يكون له أهمية كبيرة في فهم كيفية استخدام الإشعاع الشمسي.

1.1. الشمس:

الشمس هي كرة من الأجسام الغازية الحارّة الكثيفة بقطر (1.39×10^9 m) وتبعد عن الأرض مسافة (1.5×10^{11} m). تعد الشمس جسماً أسود درجة حرارته حوالي [°K] 6000 ، درجة حرارة المناطق الداخلية المركزية تقدّر بحوالي($40 \times 10^6 \div 8 \times 10^6$ K) وتقدّر الكثافة بحوالي (100) مرّة أكثر من كثافة الماء.

الطاقة الناتجة من داخل الكرة الشمسية على شكل درجة حرارة تبلغ عدة ملايين من الدرجات المنتقلة خارج سطحها والتي تُشع بعدئذ إلى الفضاء. الأشعة في مركز الشمس أشعة X وأشعة γ هي أجزاء من أشعة الطيف، ومع زيادة أطوال موجات الأشعة تصبح درجات الحرارة كقطرات ذات مسافات إشعاعية أكبر. الشكل (1.1.1) يبين التركيب التخطيطي للشمس. حوالي 90% من

الطاقة المولدة تكون في المنطقة من (0.23R ÷ 0) [حيث R نصف قطر الشمس] والتي تحتوي 40% من كتلة الشمس. عند المسافة 0.7R من المركز تكون درجة الحرارة حوالي 130000K وتصل الكثافة إلى[kg/m^3 70]، وهنا تصبح عمليات انتقال الحرارة هامّة، والمنطقة من (1.0R ÷ 0.7) معروفة كمنطقة نقل بالحَمل.



الشكل (1.1.1) بنية الشمس (Duffie & Beckman 1991)

نلاحظ على سطح الشمس مناطق داكنة صغيرة تدعى (Pores)، مدى القيمة لها كالخلايا الحَملية، ومناطق داكنة أكبر تدعى كَلَف الشمس (sunspots) وتكون متغيرة الحجم. الطبقة الخارجية من منطقة الحمل تدعى فوتوسفير. الطبقة الخارجة لهذه المنطقة تتميز بأنها حادة، على الرغم من أن كثافتها منخفضة. منطقة الفوتوسفير هي مصدر معظم الأشعة الشمسية. خارج منطقة

الفوتوسفير نلاحظ أن نفوذية الغلاف الجوي للأشعة الشمسية تكون أقل أو أكثر خلال خسوف القمر الكلي أو بواسطة أجهزة تتأثر بالتأثيرات الخارجية لقرص الشمس، أعلى طبقة الفوتوسفير توجد طبقة من الكثير من الغازات الباردة عمقها مئات الكيلومترات تدعى الطبقة المعاكسة. خارج هذه الطبقة توجد طبقة تعود إلى طبقة كروموسفير سماكتها حوالي (10000 km). هذه الطبقة غازية درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة طبقة الفوتوسفير ولكن كثافتها أقل. الطبقة الأبعد تدعى كورونا، كثافتها منخفضة جداً ودرجة حرارتها عالية جداً [°K] 10^6.

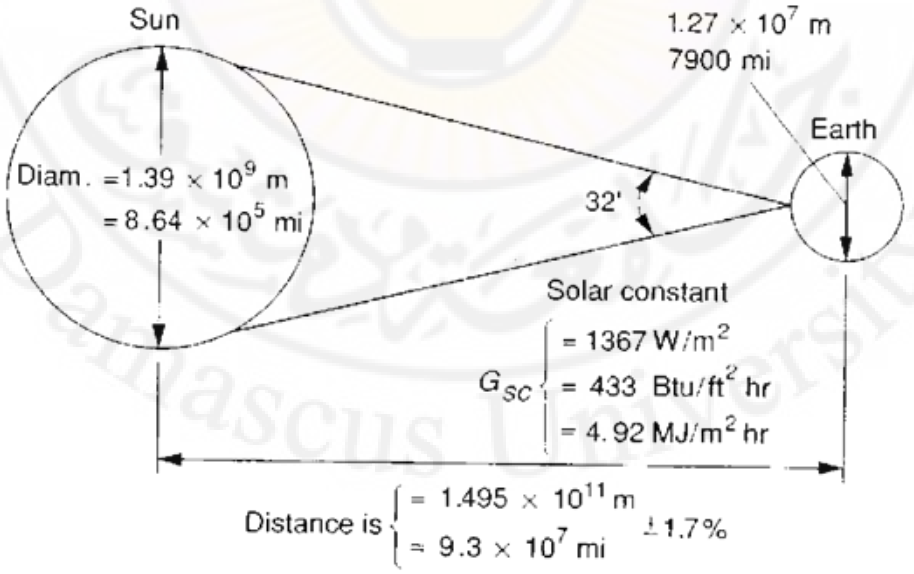
إن كمية الطاقة الشمسية التي تتلقاها الأرض كبيرة جداً مقارنة باحتياجات العالم من الطاقة، ولكن وجود البحار والجبال والوديان والمناطق الطبوغرافية المختلفة التي تسقط عليها الأشعة الشمسية هي مناطق غير صالحة لاستغلال الطاقة الشمسية بشكل كامل سواء نتيجة لبعدها عن اليابسة أو للتكلفة الاقتصادية العالية، وكذلك وجود مساحات واسعة من الصحارى التي تتلقى كميات كبيرة من الإشعاع الشمسي ولكنها غير مأهولة بالسكان . إن الإشعاع الشمسي الناتج خارج الغلاف الجوي يقاس الآن بالكثير من الطرق التجريبية.

2.1. الثابت الشمسي:

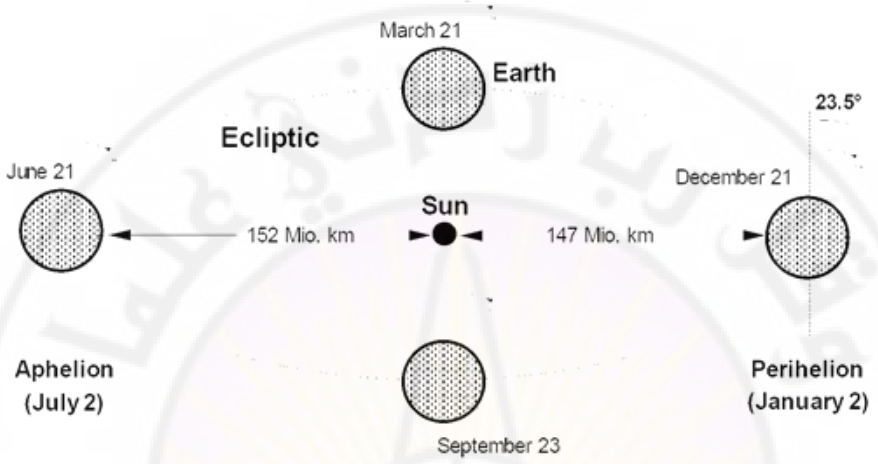
الثابت الشمسي G_{sc} هو الطاقة من الشمس الواردة خلال واحدة الزمن على واحدة المساحة من سطح متعامد مباشرة مع الإشعاع الشمسي وواقع على سطح الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية، ويعني المسافة بين الشمس والأرض خارج الغلاف الجوي. يكتسب الثابت الشمسي أهمية خاصة في تطبيقات الطاقة الشمسية ذلك أنه لايمكن في الواقع الحصول على كمية طاقة من الشمس أعلى من قيمة الثابت الشمسي وبالنسبة لكمية الطاقة التي تصل إلى الأرض فإنها أقل من قيمة الثابت الشمسي بسبب انعكاس قسم من الاشعاع الشمسي أو امتصاصه أثناء عبوره الغلاف الجوي. بالإمكان حساب الثابت الشمسي وذلك باعتبار الشمس جسماً أسود درجة حرارته 6000k ونتيجة لهذه الحسابات ينتج أن قيمته حوالي[$1600[W/m^2$ ، غير أنّ القياسات العملية التي أجريت بواسطة المركبات الفضائية تعطي قيمة أقل من تلك القيمة، الفرق يعود الى أن القيمة النظرية تقوم على اعتبار الشمس جسماً أسود ذا درجة حرارة متجانسة بينما هو في الواقع غير ذلك. قبل اختراع الصواريخ والسفن الفضائية قُدّر الثابت الشمسي بقياسات كثيرة أرضية للإشعاع الشمسي، وقد قُدّر بشكل استقرائي من القياسات الأرضية المأخوذة من أعالي الجبال على أساس

تخمين النقل الجوي في أجزاء مختلفة من الطيف الشمسي. الدراسات الرائدة أجراها (Abbot) في معهد (Smithsonian). تابع هذه الدراسات والقياسات من الصواريخ العالم(Johnson) عام 1954. قدّر Abbot الثابت الشمسي[W/m^2 1322] وعدّلها جونسون فأصبحت W/m^2 1395. القياسات المتاحة للإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر المأخوذة من سفن الفضاء والبالونات ومن المركبات الجوية العمودية العالية جداً أغلبها أو كلّها خارج الغلاف الجوي الأرضي. هذه القياسات أجريت بتجهيزات مختلفة من تسع برامج تجريبية منفصلة ، وقد قدّر العالم Frohlich (1977) قيمة الثابت الشمسي [W/m^2 1353] مع خطأ 1.5% +)، لكن مركز الإشعاع العالمي (WRC) فيما بعد اعتمد القيمة [$W/m^2$1367] مع خطأحوالي 1% وهي القيمة المعتمدة في هذا الكتاب.

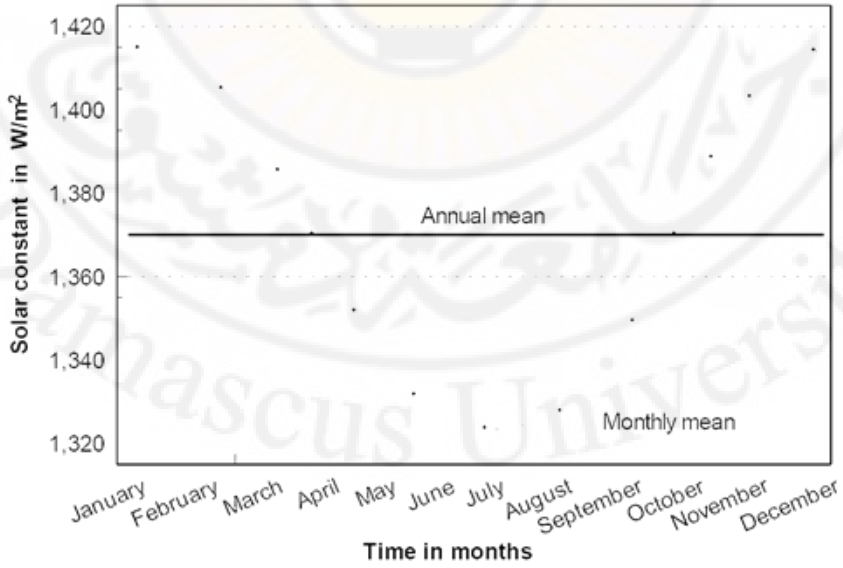
الشكل (1.2.1) يبين الموقع التخطيطي للعلاقة بين الشمس والأرض. الاختلاف المركزي لمسار الأرض يكون كالمسافة ما بين الشمس والأرض باختلاف 1.7% . الشكل (2.2.1) يبين المدار الإهليليجي للأرض حول الشمس. ويبين الشكل(3.2.1) الثابت الشمسي أثناء سنة واحدة.



الشكل (1.2.1) الموقع التخطيطي للعلاقة بين الشمس والأرض (Duffie & Beckman 1991)



الشكل (2.2.1) المدار الإهليليجي للأرض حول الشمس



الشكل (3.2.1) الثابت الشمسي أثناء سنة واحدة

المسافة كوحدة فلكية (1.495×10^{11} m)، تعني المسافة بين الشمس – الأرض، الشمس تقابل الزاوية 32′ . تغير المسافة بين الأرض والشمس يؤدي إلى تغير في معدل تدفق الأشعة الخارجية في حدود 3% +. إن الأشعة خارج الغلاف الجوي تعتمد على الوقت من السنة ويتوضح بالعلاقة (1.2.1):

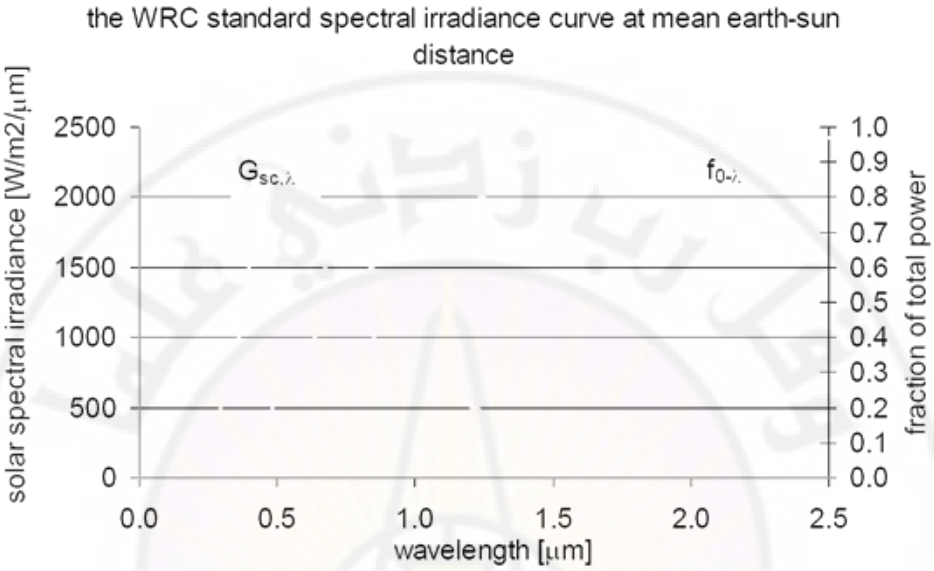
$$G_o = G_{SC}\left[1+0.033\cos\frac{360n}{365}\right] \qquad (1.2.1)$$

حيث:

G_o هو الشعاع خارج الغلاف الجوي والمقيس على مستوى عمودي على الأشعة في n يوم من السنة.

3.1 توزيع طيف الإشعاع خارج الغلاف الجوي:

الثابت الشمسي يمثل الطاقة الكلية في الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوي ويكون من المفيد معرفة توزيع طيف هذه الأشعة، وبذلك يكون هو الإشعاع الذي سوف يُستقبل في غياب الغلاف الجوي. إنّ الإشعاع الشمسي يتكون من مجموعة موجات كهرومغناطيسية تتراوح أطوالها بين(0.2–3 μm) والواقع إنّ الإشعاع الشمسي يحتوي على موجات أطول لكن كمية الطاقة فيها قليلة ولا تتجاوز% 1 من مجمل طاقة الطيف الشمسي، ينقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة مجالات، الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء، تمّ رسم منحني الإشعاع الطيفي القياسي على قاعدة عالية عمودية وبقياسات في الفراغ في مركز الأشعة العالمي (WRC) القياسي والذي يبينه الشكل(1.3.1).



الشكل (1.3.1) منحني الطيف الإشعاعي القياسي عند المسافة بين الأرض والشمس (Duffie & Beckman1991).

4.1. تعاريف:

1. **كتلة الهواء m:** هي النسبة بين كتلة الغلاف الجوي والمتضمنة الإشعاع المباشر إلى كتلته عندما تكون الشمس في السمت (أي مباشرة فوق الرأس). m = 1 عند مستوي البحر وعندها تكون الشمس في السمت، m=2 من أجل زاوية السمت $\theta z = 60°$ ، أما لزوايا السمت من $0 \div 70°$ عند مستوي البحر فيؤخذ تقريباً: $m = \frac{1}{\cos\theta_z}$ ، ولزوايا سمت أعلى فإن ميل الأرض يُصبح مُهماً ويجب أن يؤخذ في الحسابات.
2. **الإشعاع المباشر beam radiation:** هو الإشعاع الشمسي الوارد من الشمس من دون أن يُبعثر عن طريق الغلاف الجوي.
3. **الإشعاع المُبعثر diffuse radiation:** هو الإشعاع الوارد من الشمس بعد أن يُغيّر اتجاهه عن طريق الغلاف الجوي.

4. **الإشعاع الشمسي الكلي Total solar radiation:** هو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر والمبعثر على السطح المستقبل (معظم القياسات العامة للإشعاع الشمسي هي الشعاع الكلي على سطح أفقي، غالبا تعود للاشعاع الكلي على السطح).

5. **الإشعاعية(W/m^2)Irradiance :** هي النسبة من الطاقة المشعة والتي تكون واردة على السطح لكل وحدة مساحة من السطح. الرمز G يستعمل للاشعاعية الشمسية مع استخدام دليل مناسب للإشعاع المباشر والمنتشر أو لإشعاع الطيف .

6. **الإشعاع(Irradiation or Radiant Exposure):**(J/m^2)الطاقة الساقطة على واحدة المساحة من سطح وتحسب بمكاملة الإشعاعية في زمن محدد ، عادة يؤخذ ساعة أو يوم.

الرمز [H] يستخدم لتحديد مقدار الإشعاع الشمسي اليومي. الرمز [I] يستخدم لتحديد مقدار الإشعاع الشمسي لكل ساعة (أو أي فترة محدّدة). الرمزان [H] و[I] يرمزان للشعاع المباشر والمبعثر والكلي على أي سطح وفي أي اتجاه. الدليل الموجود إلى جانب كل من G، H، I هي كما يلي: o تستخدم للإشعاع خارج الغلاف الجوي الارضي، ويعود إلى الاشعة الخارجية، b و d يشيران لكل من الإشعاع المباشر والمنتشر، t و n يشيران لورود اتجاه الأشعة على مستو مائل وعلى مستو طبيعي. وإذا لم يظهر أي من t أو n فهذا يعني أن الإشعاع وارد على مستو أفقي.

7. **الطاقة المتوهجة Radiocity [W/m^2]:** هي نسبة الطاقة المتوهجة المغادرة السطح من واحدة المساحة عن طريق اتحاد الشعاع المنبعثemission والمنعكس reflection والنفوذ transmission.

8. **الطاقة المنبعثة Emissive power [W/m^2]:**هي معدّل الطاقة المتوهجة المغادرة سطح واحدة المساحة بالانبعاث فقط.

9. **الوقت الشمسي:** الوقت يعتمد على حركة الشمس الظاهرية عبر السماء مع وقت الظهر الشمسي، يلاحظ مراقب أنّ الشمس تكون عمودية مع خط السمت في منتصف النهار. الوقت الشمسي هو الزمن المستخدم في جميع علاقات الزوايا الشمسية وهو لا يتطابق مع الوقت المحلي. لذلك يجب تحويل الوقت القياسي للوقت الشمسي من معادلة الوقت: حيث يؤخذ

بالاعتبار اضطراب الجرم السماوي في حركته المدارية المألوفة بالنسبة لدوران الأرض والتي تؤثر في زمن تعامد الشمس وقت الظهيرة. الاختلاف يكون دقائق بين الوقت الشمسي والوقت القياسي وهو :

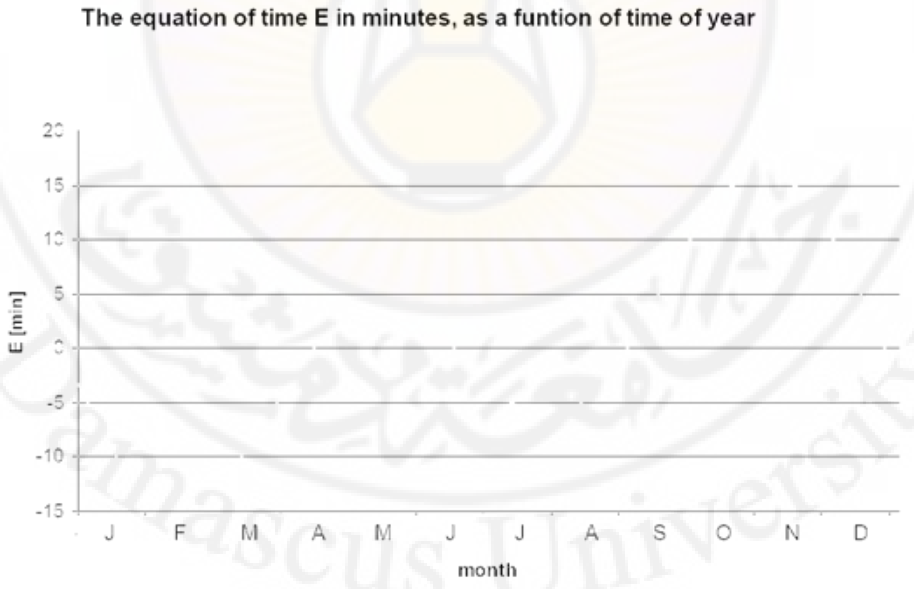
$$Solartime - standard\ time = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \qquad (1.4.1)$$

حيث:

L_{st} : هو خط السمت القياسي للمنطقة .

L_{loc}: هو خط الطول للمكان المدروس

E: يقدّر بالدقائق ويحدّد من الشكل (1.4.1) أو من المعادلة (2.4.1)



الشكل(1.4.1) معادلة الزمن E في دقائق كتابع للزمن في السنة.

$$E = 229.2\ (0.000075 + 0.001868\ \cos B - 0.032077\ \sin B - 0.014615\ \cos 2B - 0.04089\ \sin 2B) \qquad (2.4.1)$$

حيث:

$$B = (n - 1)\frac{360}{365}$$

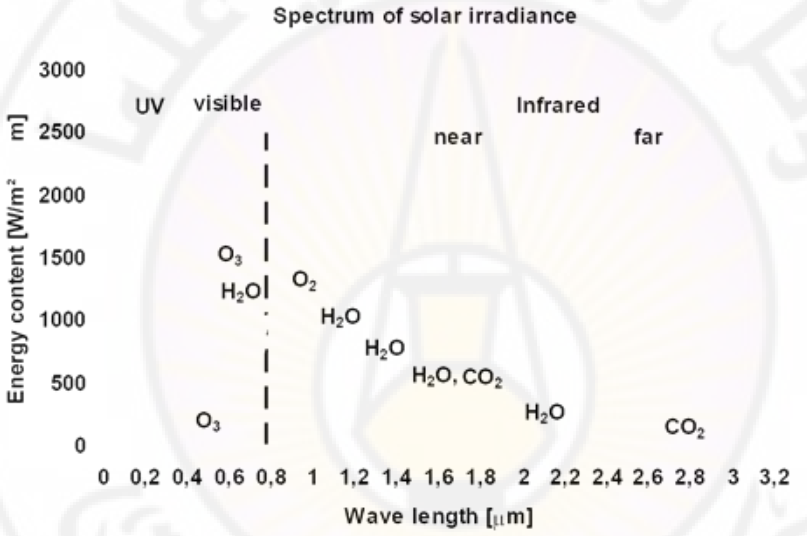
n : هو رقم اليوم في السنة $1 < n < 365$

5.1 الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة على الأرض:

إنَّ للغلاف الجوي تأثيراً كبيراً على الإشعاع الشمسي وعلى الاحتفاظ بدرجة حرارة الجو بشكل مقبول، يحتوي الطيف الشمسي على أشعة فوق بنفسجية تتميز فوتوناتها بأنّها تحمل طاقة أكبر من طاقة الربط الكيماوية التي تربط بين جزيئات الأجسام الحية للأشعة فوق البنفسجية فإنّ ذلك سيؤدي إلى تدمير الروابط الكيماوية بين جزيئاتها . ولحسن الحظ فإنّ الطبقة العليا من الغلاف الجوي المحيط بالأرض تتكون من الأوزون الذي يمتلك قدرة كبيرة على امتصاص هذه الأشعة. من جهة أخرى لو نظرنا إلى الأرض باعتبارها جسماً حرارياً لوجدنا أنَّ معظم إشعاعاتها الحرارية تكون إشعاعات ذات موجات طويلة أي أشعة تحت الحمراء، ومن الخصائص المميزة لـ CO_2 وبخار الماء الموجودين في الغلاف الجوي المحيط بالأرض أنّهما يمتصان هذا النوع من الأشعة ويعيدان إشعاع جزء منه إلى الأرض مرة أخرى، ونتيجة لهذا التأثير فإنّ سطح الأرض يحتفظ بدرجة حرارة كالّتي نعرفها، إنّ درجة حرارة الغلاف الجوي ترتفع بشكل قد يؤدي الى انصهار الجليد الموجود في منطقة القطبين ممّا ينجم عنه إغراق مساحات واسعة من العالم والتفسير العلمي له هو ازدياد نسبة CO_2 في الجو بسبب حرق الوقود والتلوث، من هنا ندرك أهمية الغطاء النباتي الأخضر. لكن إذا كانت مكونات الغلاف الجوي تؤدي هذه الوظائف الهامّة فهذا يحدث على حساب إحداث بعض التغيرات على الإشعاع الشمسي أثناء عبوره الغلاف الغازي وقبل وصوله الى الأرض. الإشعاع الشمسي يصطدم أثناء عبوره الغلاف الجوي بمكونات هذا الغلاف بالإضافة الى الغيوم فينتج عن ذلك:

1- امتصاص جزء من الإشعاع الشمسي من طبقات الـO_3 وبخار الماء.

2- يتبعثر جزء من الإشعاع الشمسي في الجو في الاتجاهات المختلفة نتيجة لعمليات الانعكاس والانكسار ويصل جزء منه الى الأرض بينما ينتشر جزء آخر في الفضاء، أمّا ذلك الجزء من الإشعاع الشمسي الذي لايتأثر بأيٍّ من عوامل الامتصاص والانتشار فإنّه يصل الى سطح الأرض دون تغير في أطوال موجاته. الشكل(1.5.1) والشكل (2.5.1) يبينان تأثير الغلاف الجوي على الإشعاع الشمسي .

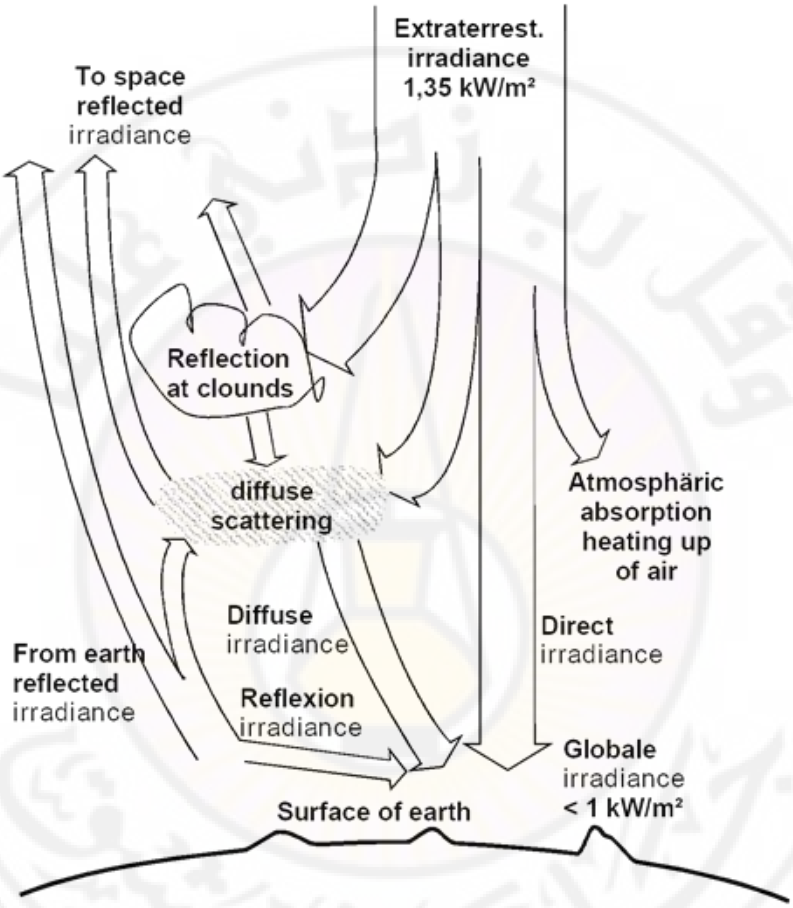


الشكل (1.5.1) الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي(أزرق) والإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض مع مركّبات الغلاف الجوّي التي تمتصُّ الإشعاع الشمسي في مجال طول موجة معيّنة

تعتمد مدّة السطوع الشمسي بالإضافة الى الإشعاعية الشمسية **solar irradiance** على الزمن في السنة، والأحوال الجوية والطبيعية إضافة الى الموقع الجغرافي. مقدار الإشعاع الشمسي الكلي السنوي (على سطح أفقي) في المناطق المشمسة يمكن أن تزيد عن [a. kWh/m^2] **2200.** المناخ يتغير من موقع الى موقع ومن سنة الى أخرى.

لتغطية المجال الجغرافي من أجل الأسواق الأساسية في الأنظمة الشمسية نُقدّم فيما يلي مميزات للمناخ في شمال ووسط وجنوب أوروبا بالإضافة الى مناخ دمشق :

- سوريا ، دمشق ،-السويد ، استوكهولم ، -سويسرا ، زيوريخ ،- فرنسا ، كاربنتراس .



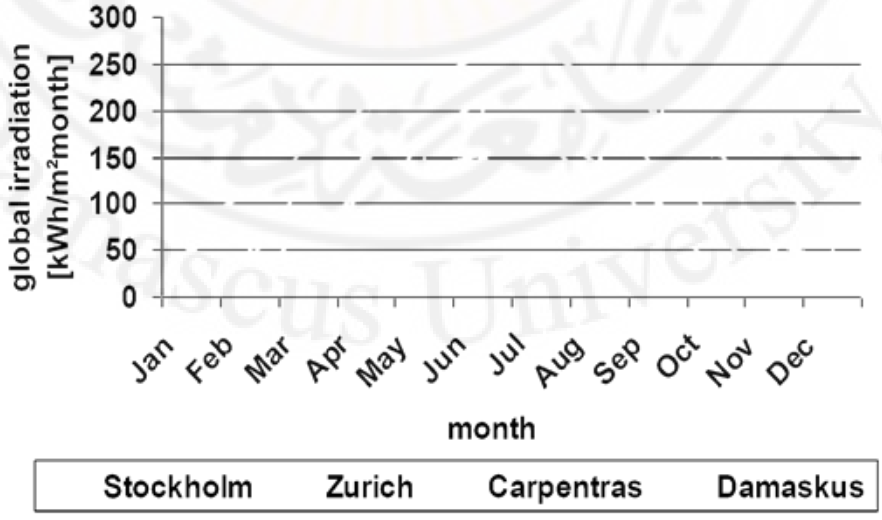
الشكل (2.5.1) تدفق الطاقة من الإشعاع خارج الغلاف الجوي للإشعاع على سطح أفقي (القيم لوسط أوروبا)

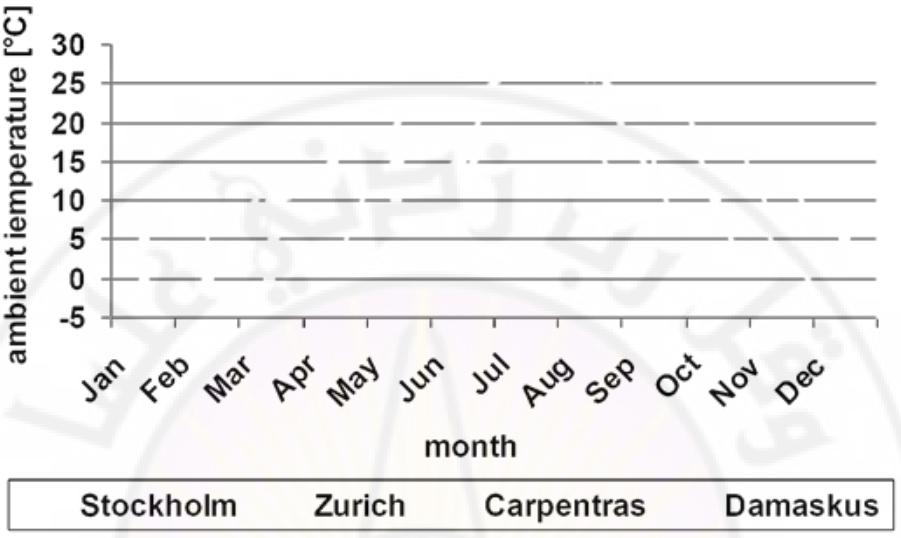
يبين الجدول (1.1) مميزات الموقع بما يتعلّق بالبيانات الجغرافية ، درجات الحرارة التصميمية (للتدفئة) والإشعاعية الكلية السنوية (على سطح أفقي) .

الجدول(1.5.1) خصائص بيانات المواقع الجغرافية

الموقع	خط العرض (درجة شمالا)	خط الطول (درجة شرقا)	الإرتفاع عن سطح البحر [m]	درجة حرارة الوسط المحيط التصميمية من أجل الفرغ المدفأ [°C]	الإشعاع الكلي السنوي على سطح افقي [kWh/m²a]
دمشق-سوريا	33.3	36.47	691	0	2102
كارينتراس-فرنسا	44.05	5.05	105	-6	1502
زيوريخ-سويسرا	47.37	8.543	413	-10	1088
استوكهولم-السويد	59.31	11.938	44	17	981

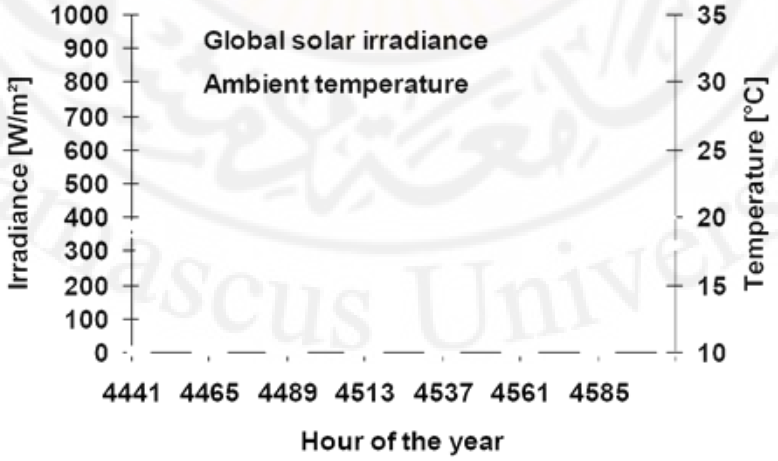
يبين الشكل (3.5.1) المتوسط الشهري للإشعاعية الشمسية الكلية ودرجة حرارة المحيط على فترة زمنية طويلة للمناخات المختارة . الفروقات بين المناخات الثلاثة واضحة . تبين أنّه في فصل التدفئة، أقل إشعاعية وُجدت في استوكهولم وهي مرتبطة بأعلى طلب للحرارة بسبب درجات الحرارة المنخفضة جداً.





الشكل(3.5.1) الإشعاع الكلي الشهري (على سطح أفقي) ودرجة حرارة الوسط المحيط للمواقع المختارة

يبين الشكل (4.5.1) التقلبات اليومية لمدة أسبوع في الصيف في زيوريخ مع طقس غائم في البداية ومشمس في نهاية الأسبوع.



الشكل(4.5.1) القيم المتوسطة الساعية للإشعاع الكلي ودرجة حرارة الوسط المحيط لأسبوع في الصيف في مدينة زيوريخ حسب مولد بيانات المناخ(1999)

1. 6 البيانات المناخية المتاحة:

البيانات المناخية لدرجة حرارة الوسط المحيط والإشعاع الشمسي الكلي (على سطح أفقي) يكون متوفراً في مناطق واسعة من العالم. على الشكل (3.5.1) رأينا كلاً من الإشعاعية ودرجة حرارة الوسط المحيط تختلفان من موقع لآخر على مدى واسع من القيم الشهرية وأقل على السنوية من سنة لأخرى. إذا كان بالإمكان مقارنة المواقع فيكون من الضروري استخدام البيانات المناخية الوسطية.

لنمذجة الأنظمة الشمسية (تخزين مياه) من يوم إلى ثلاثة أيام، فمن الضروري استخدام البيانات المناخية الساعية على الأقل لحساب التخزين بشكل دقيق. النوع نفسه من البيانات نحتاجه اذا أخذنا بعين الاعتبار تأثير الكتلة الحرارية الفعّالة (التّخزين خلال النهار لاستخدامه ليلاً لتخفيض الحرارة المطلوبة). من المشاكل التي نواجهها عند حساب البيانات الساعية لأمد طويل هي التّقلبات (الأحوال الجوية الغائمة والمشمسة في التوزيع الستاتيكي الواقعي حيث أن الإشعاع المباشر ودرجة حرارة وسرعة الرياح والرطوبة النسبية الخ. متعلقة ببعضها) توجد طريقتان لحسابها:

1.6.1السنوات المرجعية التجريبية Years Test Reference :

السنوات المرجعية التجريبية تتولد باختيار فترة زمنية (نموذجياً شهر واحد) للبيانات المناخية المقاسة لعدد من السنوات من أجل موقع واحد كما تربط المتوسطات الشهرية طويلة الأمد لبيانات مناخية للموقع نفسه. باستخدام بيانات مقاسة يتضمن تماماً وصف للتقلبات الجوية لهذه المنطقة . لتوليد Test Reference Years يتطلب زمناً طويلاً، وتكلفته غالية جداً (على سبيل المثال في ألمانيا يوجد 12 من Test Reference Years). ولكي تولد مثل هذه البيانات لكل البلاد يجب تقسيمها الى مناطق حرارية نموذجية .

2.6.1 مولد بيانات المناخ Weather data generators :

الاحتمال الثاني هو استخدام مولد بيانات المناخ. هذه البرامج تستخدم لأمد طويل المتوسط الشهري للبيانات لبعض القيم الرئيسية (عادة يؤخذ المتوسط اليومي الشهري للإشعاع الكلي ودرجة

حرارة الوسط المحيط) وتوليد البيانات الساعية، باستخدام تقريبات فيزيائية وستاتيكية وعشوائية (من علم الإحصاء). يتم الحصول على مولد البيانات المناخية باستخدام طرق النمذجة عن طريق برامج.

إذا كانت الخطوات الزمنية أقل من ساعة فهذا يتطلب لنمذجة الموديل السلوك الدقيق للنظام، يجب إدخال القيم الساعية الخطية مع الفرض أنه لايحدث إشعاع قبل الغروب أو بعده.

7.1. حساب الإشعاعية على مستوٍ مائل:

تعطى عادة القيم الساعية للإشعاعية لسطح أفقي. ولكن من أجل الإشعاع المباشر على السطوح المائلة، فإنّ هذه القيم يجب تحويلها بمساعدة زوايا الميل والتوجيه إضافة الى زوايا خط العرض الجغرافي والوقت من السنة واليوم.

7.1. 1. الإشعاع المباشر على السطوح المائلة:

يعتمد أداء معظم الأنظمة الحرارية الشمسية إلى حد كبير على عملية تجميع الطاقة الشمسية ، ويعتمد أداء المجمعات الشمسية على عوامل كثيرة من أهمها مقدار الطاقة الشمسية التي يستقبلها سطح المجمع واتجاهها بالنسبة لذلك السطح في أماكن مختلفة على سطح الأرض وفي أي وقت من السنة، وبعد ذلك تعرف الطاقة الشمسية وتدرس التغيرات التي تطرأ عليها خلال مرورها في الغلاف الجوي الأرضي، وتحديد العلاقات المحدّدة لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على هذا السطح .

لمعرفة شدة الإشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح معين موجود على الأرض يلزم معرفة اتجاه الأشعة الشمسية وموقع السطح على الأرض بالنسبة للشمس والوقت من حيث الساعة واليوم لأن وضع الأرض بالنسبة للشمس دائم التغير وتتحدد هذه المميزات وغيرها بالزوايا التالية :

ϕ [°] Latitude angel زاوية خط العرض للموقع على شمال أو جنوب خط الاستواء (موجب للشمال).

$$-90° \le \phi \le 90°$$

δ[°] Declination angel زاوية انحراف موضع الشمس عن الظهر الشمسي،

القيم الموجبة نحوالشمال، $(-23.45 \le \delta \le 23.45)$

$$\delta = 23.45 \sin(360 \frac{284 + n}{365})$$

ω[°] Hour angle الزاوية الساعيّة ، عند الظهر الشمسي تساوي 0، لكل ساعة تساوي 15°

(0 h , −180°; 12 h , 0° ; 24 h , 180°)،

β[°] زاوية ميل السطح المدروس مع المستوي الأفقي $0 \le \beta \le 180°$ ، عندما β>90°

هذا يعني أنّ وجه السطح المستقبل للأسفل،

γ[°] Surfase azimuth angle زاوية سمت السطح ، الزاوية بين موقع المكان الأفقي والجنوب (للشرق+90، الجنوب0° ، للغرب90° ، للشمال 180°)، وتتراوح

$$If\ (\phi - \delta) \rangle 0 \Rightarrow \gamma = 0$$

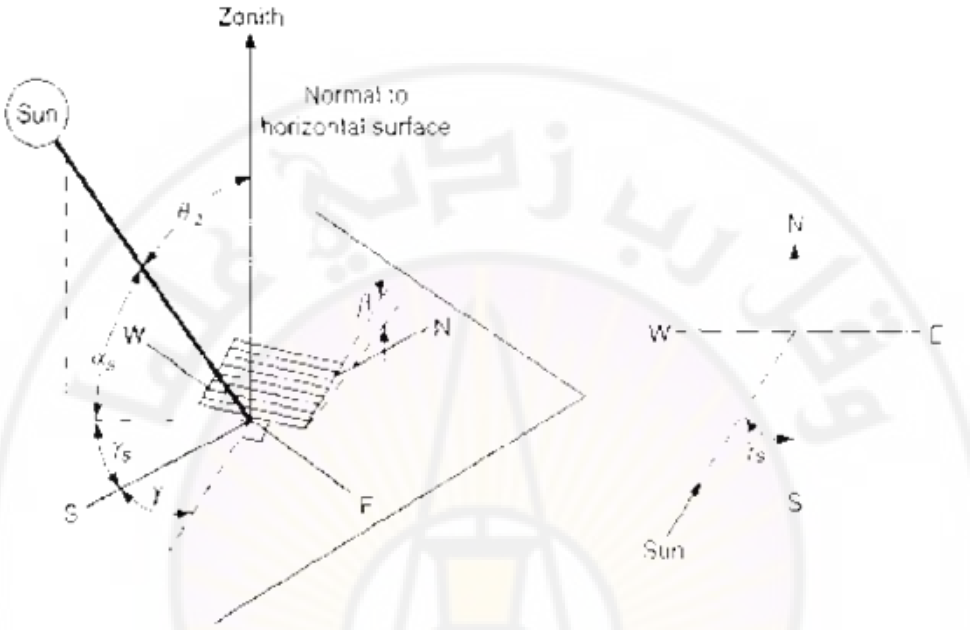
$$If\ (\phi - \delta) \langle 0 \Rightarrow \gamma = 180°$$

θ[°] Angle of incidence زاوية ورود الإشعاع المباشر ، تقاس بين الشعاع الشمسي الوارد والناظم على السطح ،

θz[°] Zenith angle زاوية السمت، الزاوية بين الشاقول وخط الشمس ، أي زاوية ورود حزمة الأشعة تكون على المستوي الأفقي ،

αs[°] Solar altitude angle زاوية ارتفاع الشمس الزاوية بين الأفق وخط الشمس، أي الزاوية المتممة لزاوية السمت ،

γs[°] Solar azimuth angle زاوية سمت الشمس، أي زاوية الانزياح عن الجنوب لمسقط حزمة الأشعة على المستوي الأفقي ، كما هو موضح بالشكل (1.7.1).



الشكل (1.7.1) زاوية السمت وزاوية الميل وزاوية سمت السطح وزاوية سمت الشمس على مستو مائل (لليسار). مخطط يبين زاوية سمت الشمس (لليمين) (Duffie & Beckman. 1991)

لحساب زاوية سمت الشمس γ_s يمكن أن تأخذ قيماً في المجال بين (°180- ،°180). من أجل خطوط العرض الشمالية أو الجنوبية بين °23.45 و °66.45 فإن زاوية سمت الشمس γ_s ستكون بين °90 و °90- للأيام التي يكون طولها أقل من 12 ساعة بين شروق الشمس وغروبها، أما للأيام التي يكون طولها أكبر من 12 ساعة بين شروق الشمس وغروبها فإن γ_s ستكون أكبر من °90 أو أقل من °90- في الصباح الباكر وفي وقت متأخر في ذلك اليوم عندما تكون الشمس شمال (الخط شرق-غرب) في نصف الكرة الأرضية الشمالي أو جنوب(الخط شرق-غرب) في نصف الكرة الأرضية الجنوبي. من أجل خط الاستواء فإن γ_s يمكن أن تأخذ أي قيمة عندما تكون($\delta-\phi$) موجبة في نصف الكرة الأرضية الشمالي وسالبة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي. على سبيل المثال فقط من أجل قبل الظهر عند خط عرض °10= ϕ و °20=δ فإن °180- =γ_s ومن أجل بعد الظهر تكون °180+ =γ_s . وهكذا

تكون γ_s سالبة عندما تكون الزاوية الساعية سالبة و تكون موجبة عندما تكون الزاوية الساعية موجبة.

بحسب (Duffie & Beckman 1980) لحساب زاوية سمت الشمس يجب أن يعرف موضع الشمس في أي ربع دائرة (quadrant) سيكون. وهذا يحدد من خلال علاقة الزاوية الساعية ω مع ω_{ew} عندما تكون الشمس إما باتجاه الشرق (أو الغرب). تكتب الصيغة العامة ل γ_s، حسب (Braun and Mitchel 1983)، بشكل ملائم في مصطلحات γ_s' ، تدعى زاوية سمت الشمس المزيفة والتي تكون في الربع الأول أو الرابع من الدائرة وتعطى بالعلاقة (1.7.1):

$$\gamma_S = C_1' C_2' \gamma_S' + C_3' \left(\frac{1 - C_1' C_2'}{2}\right) 180 \qquad (1.7.1)$$

أما الزاوية المزيفة γ_s' فتحسب بدلالة كل من زاوية الانحراف وزاوية خط العرض والزاوية الساعية وزاوية السمت من المعادلة (2.7.1) أو (3.7.1):

$$\sin \gamma_s' = \frac{\cos \delta . \sin \omega}{\sin \theta_z} \qquad (2.7.1)$$

أو

$$\tan \gamma_S' = \frac{\sin \omega}{\sin \phi . \cos \omega - \cos \phi \tan \delta} \qquad (3.7.1)$$

الثوابت المعطاة في المعادلات تأخذ القيم التالية:

$C_1' = 1$ عندما $|\omega| \le \omega_{ew}$ وإلا $C_1' = -1$

$C_2' = 1$ عندما $\phi(\phi - \delta) \ge 0$ وإلا $C_2' = -1$

$C_3' = 1$ عندما $\omega \ge 0$ وإلا $C_3' = -1$.

من أجل حساب الزاوية ω_{ew} نطبق المعادلة (4.7.1):

$$\omega_{ew} = \arccos(\tan\delta / \tan\phi) \qquad (4.7.1)$$

إذا كان $|(\tan\delta / \tan\phi)| > 1$ فإن الشمس لا تكون أبداً باتجاه الشرق أو الغرب بالنسبة لعين المراقب عندها ضع C_1=1.

وبحسب (Duffie & Beckman 2006) يمكن حساب زاوية سمت الشمس من العلاقة (5.7.1) يحيث تكون $sign(\omega) = +1$ عندما تكون الزاوية الساعية موجبة ويكون $sign(\omega) = -1$ عندما يكون الزاوية الساعية سالبة.

$$\gamma_s = sign(\omega)\left|\cos^{-1}\left(\frac{\cos\theta_z \sin\phi - \sin\delta}{\sin\theta_z \cos\phi}\right)\right| \qquad (5.7.1)$$

تحسب زاوية السمت من المعادلة (6.7.1):

$$\cos\theta_z = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \qquad (6.7.1)$$

مثال:

احسب زاوية السمت وزاوية سمت الشمس من أجل ϕ=43° عند الساعة 9.30AM في 13 شباط وفي 6.30PM في 1 تموز؟

الحل:

في 13 شباط عند الساعة 9.30AM تكون δ=−14° و ω= −37.5° نعوض في علاقة السمت:

$$\cos\theta_z = \cos(43)\cos(-14)\cos(-37.5) + \sin(43)\sin(-14) = 0.398$$
$$\theta_z = 66.5°$$

نعوض في العلاقة (5.7.1) :

$$\gamma_s = -1\left|\cos^{-1}\left(\frac{\cos 66.5 \sin 43 - \sin(-14)}{\sin 66.5 \cos 43}\right)\right| = -40.0°$$

ومن أجل 1 تموز عند الساعة 6.30PM فإن n=182 ، و δ=23.1° و ω=97.5° نعوض في العلاقة (6.7.1) :

$$\cos\ \theta_z = \cos 43 \cos 23.1 \cos 97.5 + \sin 43 \sin 23.1$$

$$\theta_z = 79.6°$$

نعوض في العلاقة (5.7.1) :

$$\gamma_s = +1\left|\cos^{-1}\left(\frac{\cos 79.6 \sin 43 - \sin 23.1}{\sin 79.6 \cos 43}\right)\right| = 112.0°$$

يمكن حساب الزاوية δ ليوم معين يدعى اليوم الاسمي في الشهر من الجدول (1.7.1) :

الجدول (1.7.1) زاوية انحراف الشمس عن الظهر الشمسي (Klein 1977)

الشهر	n رقم اليوم في الشهر	لليوم الوسطي من الشهر		
		رقم اليوم الوسطي	n رقم اليوم في السنة	δ زاوية الانحراف
كانون الثاني	i	17	17	-20.9
شباط	31+i	16	47	-13.0
آذار	59+ i	16	75	-2.4
نيسان	90+i	15	105	9.4
أيار	120+i	15	135	18.8
حزيران	151+i	11	162	23.1
تموز	181+i	17	198	21.2
آب	212+i	16	228	13.5

أيلول	243+i	15	258	2.2
تشرين الأول	273+i	15	288	9.6
تشرين الثاني	304+i	14	318	-18.9
كانون الأول	334+i	10	344	23.0

يمكن من الجدول(1.7.1) ملاحظة أنّ δ تابعة دوماً للزمن، وأنّ أكبر قيمة لها عند الانقلاب الصيفي .

توجد علاقات ثابتة لحساب هذه الزوايا :

إنّ ورود الإشعاع المباشر على سطح مائل محدد بزاوية وروده (θ) الشكل (2.7.1) بالمقابل هذه الزاوية تعتمد على ميل وموقع السطح المستقبل وموقع الشمس وتعطى بالمعادلة (7.7.1) و (8.7.1).

الشكل (2.7.1) موقع على سطح الأرض يبين $(\phi-\beta)$ ϕ. θ. β لسطح موجه نحو الجنوب (Duffie & Beckman. 1991)

$$\cos\theta = \begin{pmatrix} +\sin\delta\cdot\sin\phi\cdot\cos\beta \\ -\sin\delta\cdot\cos\phi\cdot\sin\beta\cdot\cos\gamma \\ +\cos\delta\cdot\cos\phi\cdot\cos\beta\cdot\cos\omega \\ +\cos\delta\cdot\sin\phi\cdot\sin\beta\cdot\cos\gamma\cdot\cos\omega \\ +\cos\delta\cdot\sin\beta\cdot\sin\gamma\cdot\sin\omega \end{pmatrix} \qquad (7.7.1)$$

و

$$\cos\theta = \cos\theta_z\cos\beta + \sin\theta_z\sin\beta\cos(\gamma_s - \gamma) \qquad (8.7.1)$$

يوجد الكثير من الحالات الشائعة التي تكون فيها العلاقة (7.7.1) مبسطة، لسطوح ثابتة الميل موجهة نحو الجنوب أو الشمال ، تكون فيها γ مساوية $0°$ أو $180°$ (حالة شائعة جداً للمجمعات المسطحة)، فإنّ الحدّ الأخير ينعدم .

للسطوح الشاقولية ، $\beta = 90°$ تصبح العلاقة :

$$\cos\theta = -\sin\delta\cos\phi + \cos\delta\sin\phi\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\gamma\sin\omega \qquad (9.7.1)$$

للسطوح الأفقية ، $\beta = 0°$ تصبح زاوية الورود هي زاوية السمت من الشمس θ_z :

$$\cos\theta_z = \cos\delta\cos\phi\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \qquad (10.7.1)$$

العلاقات المفيدة من أجل زاوية الورود لسطوح مائلة تماماً للشمال أو للجنوب، يمكن أن تبحث من حقيقة أنّ السطوح التي تميل بزاوية β للشمال أو للجنوب لها نفس العلاقات الزاوية للإشعاع المباشر على السطح الأفقي عند خط عرض اصطناعي ($\varphi - \beta$) . العلاقة (7.7.1) زاوية الورود تأخذ الصيغة التالية لنصف الكرة الشمالي :

$$\cos\theta = \cos(\phi - \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi - \beta)\sin\delta \qquad (11.7.1)$$

أما من أجل نصف الكرة الجنوبي فتستبدل (φ −β) بالقيمة (φ +β)، وتأخذ الصيغة (12.7.1):

$$\cos\theta = \cos(\phi+\beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\phi+\beta)\sin\delta \qquad (12.7.1)$$

في حالة خاصة عند الظهر الشمسي، لسطح مائل للجنوب في النصف الشمالي تكون :

$$\theta_{noon} = |\phi - \delta - \beta| \qquad (13.7.1)$$

وللحالة نفسها ولكن في نصف الكرة الجنوبي تكون :

$$\theta_{noon} = |-\phi + \delta - \beta| \qquad (14.7.1)$$

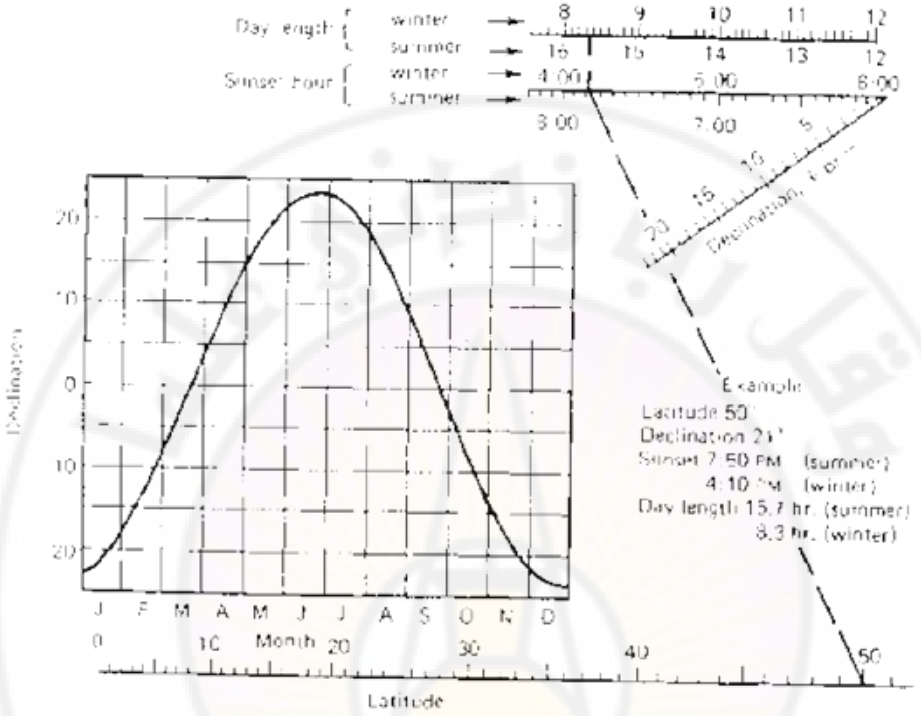
المعادلة (10.7.1) يمكن حلّها من أجل حساب زاوية غروب الشمس ω_s ، عندما $\theta_z = 90°$

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta} = -\tan\phi\tan\delta \qquad (15.7.1)$$

ويعطى أيضاً عدد ساعات السطوع اليومية بالعلاقة :

$$N = \frac{2}{15}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \qquad (16.7.1)$$

يمكن من الشكل (3.7.1) تحديد طول اليوم وساعة الغروب صيفاً وشتاءً تبعاً ل δ و φ .



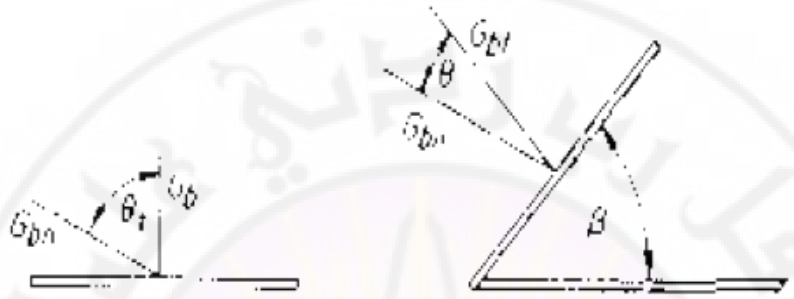
الشكل (3.7.1) مخطط لتحديد وقت غروب الشمس وطول النهار

2.7.1. نسبة حزمة الإشعاع على سطح مائل لمثلها على سطح أفقي:

لغرض تصميم العمليات الشمسية وحسابات أدائها ، فغالباً يكون حساب الإشعاع الساعي ضرورياً على سطح المجمع المائل من القياسات أو نمذجة الإشعاع الشمسي على سطح أفقي. معظم البيانات المتوفرة هي للإشعاع الكلي الساعي أو اليومي على سطح أفقي ، بينما المطلوب الإشعاع المباشر والمنتشر على سطح المجمع المائل.

المعامل الجغرافي R_b ، يمثل نسبة الإشعاع المباشر على سطح مائل الى مثله على سطح أفقي في أي وقت ، الشكل(4.7.1) يبين ورود الأشعة المباشرة على سطح أفقي وعلى سطح مائل ويمكن حسابه بدقة باستخدام زاوية الورود من المعادلة (7.7.1) وتكون :

$$R_b = \frac{G_{b,t}}{G_b} = \frac{G_{b,n}\cos\theta}{G_{b,n}\cos\theta_z} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (17.7.1)$$



الشكل (4.7.1) الإشعاع الشمسي المباشر على سطح أفقي وعلى سطح مائل

عادةً تكون زاوية السمت المثلى للمجمعات المسطحة °0 في نصف الكرة الشمالي (أو °180 في النصف الجنوبي)، وبهذا المكان يكون °γ=0 (أو °180). في هذه الحالة تؤخذ المعادلتان (8.7.1) و (9.7.1) أو (8.7.1) و (10.7.1) لتحديد قيمة cos θ z و cos θ على التوالي ، فتكون في نصف الكرة الشمالي ، من أجل °γ=0 :

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\cos\omega+\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (18.7.1)$$

وفي نصف الكرة الجنوبي من أجل °γ=180

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\cos\omega+\sin(\phi+\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\cos\omega+\sin\phi\sin\delta} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (19.7.1)$$

وفي الحالة الخاصة عند الظهر الشمسي تكون في نصف الكرة الشمالي :

$$R_b = \frac{\cos|\phi - \delta - \beta|}{\cos|\phi - \delta|} \qquad (20.7.1)$$

وفي نصف الكرة الجنوبي عند الظهر الشمسي تكون :

$$R_b = \frac{\cos|-\phi + \delta - \beta|}{\cos|-\phi + \delta|} \qquad (21.7.1)$$

الإشعاع المباشر على سطح مائل يحسب بالعلاقة (22.7.1):

$$I_t = I_b . R_b = I_b \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \qquad (23.7.1)$$

I_t [W/m²] الإشعاع المباشر على سطح مائل،

I [W/m²] الإشعاع المباشر على سطح أفقي،

R_b [–] معامل بين الشعاع المباشر على سطح أفقي الى الشعاع المباشر على سطح مائل.

3.7.1. الإشعاع المباشر والإشعاع المنتشر:

لاستخدامات الأنظمة الشمسية المتنوعة مثل المركزة أو الخلايا الشمسية photovoltaic) (cells، فمن المهم جداً أن نعرف من الإشعاع الكلي الجزء المباشر من الأشعة والإشعاع المنتشر من السماء. بالاضافة لهذا فإن الإشعاعية (irradiance) على اللاقط أو على النافذة يمكن أن تكون أشعة منعكسة من الأرض. بهذا فانّ الإشعاع الكلي Ig يتضمن عدّة مركبات كما تبينه المعادلة (24.7.1) والشكل (5.7.1):

$$I_g = I_b . R_b + I_d \frac{(1+\cos\beta)}{2} + (I_b + I_d)\rho \frac{(1-\cos\beta)}{2} \qquad (24.7.1)$$

حيث :

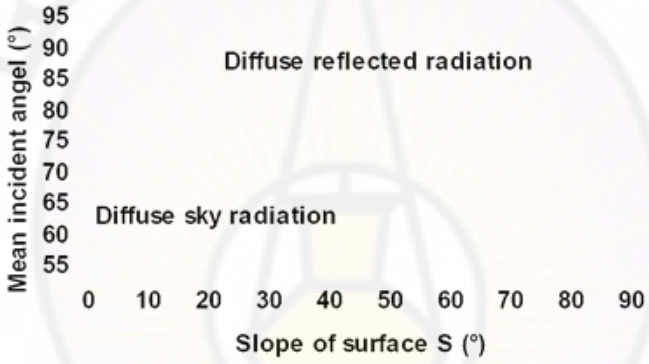
I_g [W/m²] الإشعاع الكلي على السطح،

I_b [W/m²] الإشعاع المباشر على سطح أفقي،

I_d [W/m²] الإشعاع المنتشر على سطح أفقي،

ρ [–] معامل الانعكاس.

R_b [–] معامل بين الإشعاع المباشر على سطح أفقي وسطح مائل.



الشكل (5.7.1) زاوية ورود الإشعاع الشمسي المنتشر في السماء الإشعاع الشمسي المنتشر المنعكس بالاعتماد على ميل اللاقط الشمسي(Duffie & Beckman 1991).

يوجه اللاقط الشمسي باتجاه الجنوب للاستفادة القصوى من الشمس شتاء باعتبار أن ارتفاع الشمس عن الأفق أقل مايمكن وبذلك فإن الشمس تضرب الواجهة الجنوبية شتاء.

يحسب المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح مائل بالعلاقة :

$$\bar{H}_T = \bar{R}.\bar{H} = \bar{R}_b.\bar{H}_b + \bar{H}_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \bar{H}\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \quad ..(25.7.1)$$

حيث:

$\bar{R}$: النسبة بين المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح مائل إلى ذلك الساقط على سطح أفقي وتعطى بالعلاقة:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)\bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \qquad (26.7.1)$$

إن الحد الأول من المعادلة (25.7.1) يمثل الإشعاع المباشر والثاني الإشعاع المنتشر والثالث الإشعاع المنعكس عن الأرض على فرض أن الإشعاع المنتشر والمنعكس من الأرض (Isotropic).

حيث:

$\bar{H}_d$: المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المنتشر الساقط على سطح مائل $[MJ/m^2.day]$.

$\bar{H}$: المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح أفقي $[MJ/m^2.day]$.

β: زاوية ميل السطح المائل على الأفق .

ρ : انعكاسية الأرض (قيمتها حوالي 0.2 وتزيد الى 0.7 إذا كان سطح الأرض مغطى بالجليد).

$\bar{R}_b$: نسبة المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المباشر الساقط على السطح المائل إلى نظيره الساقط على سطح أفقي.

في الواقع $\overline{R_b}$ تابع تماماً لنفوذية الغلاف الجوي، ولكن تبعاً لـ [Liu&Jordan1977] يمكن أن يخمن كنسبة للإشعاع خارج الغلاف الجوي على سطح مائل إلى مثله على سطح أفقي. بالنسبة لسطح موجه نحو خط الاستواء تحسب $\overline{R_b}$ بالطرق الحسابية المعادلة (27.7.1):

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin(\omega_s') + (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos(\phi)\cos\delta\sin(\omega_s) + (\pi/180)\omega_s\sin(\phi)\sin\delta} \qquad (27.7.1)$$

يمكن حساب نسبة الإشعاع المنتشر إلى الإشعاع الكلي $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$ عند موضع ما بمعرفة $\bar{K}_T$ عند هذا الموضع وذلك تبعاً لزاوية غروب الشمس ω_s حسب العلاقات التالية:

$$For\ \omega_s \le 81.4^\circ$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = \begin{cases} 1.0 - 0.2727\bar{K}_T + 2.4495\bar{K}_T^2 \\ -11.9514\bar{K}_T^3 + 9.3879\bar{K}_T^4 \quad for \bar{K} < 0.715 \\ 0.143 \quad for \bar{K} \ge 0.715 \end{cases} \qquad (28.7.1)$$

$$and \quad For\ \omega_s > 81.4^\circ$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = \begin{cases} 1.0 + 0.2832\bar{K}_T - 2.5557\bar{K}_T^2 \\ +0.8448\bar{K}_T^3 \quad for \bar{K} < 0.722 \\ 0.175 \quad for \bar{K} \ge 0.722 \end{cases} \qquad (29.7.1)$$

حيث:

$\overline{K_T}$: معامل الوضوح (clearness index) وهو المتوسط الشهري للنسبة بين الإشعاع الشمسي الحقيقي إلى الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي كما هو واضح في العلاقة (30.7.1):

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} ..... \qquad (30.7.1)$$

حيث: $\bar{H}$: المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الحقيقي على سطح أفقي،

$\overline{H}_o$: المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي خارج الغلاف اليومي ويحسب من الفقرة التالية.

4.7.1 الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي على سطح أفقي :

يحسب الشعاع الشمسي الوارد على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي من الشعاع الشمسي الوارد العمودي في أي زمن كما في المعادلة (1.2.1) مقسومة على R_b :

$$G_o = G_{sc}(1+0.033\cos\frac{360n}{365})\cos\theta_z \qquad (31.7.1)$$

حيث : G_{sc} هو الثابت الشمسي و n هو رقم اليوم من السنة. بتعويض قيمة $\cos\theta_z$ من المعادلة (10.7.1) نجد قيم G_o للسطح الأفقي في أي وقت بين شروق الشمس وغروبها :

يكون من الضروري من أجل حساب الإشعاع الشمسي اليومي مكاملة الإشعاع اليومي خارج الغلاف الجوي على سطح أفقي، $\overline{H}_o$ يمكن الحصول عليها بمكاملة المعادلة (32.7.1) على فترة زمنية من شروق الشمس الى غروبها . اذا كانت G_{sc} [W/m²] ، فإنّ $\overline{H}_o$ [J/m²]:

$$\overline{H}_o = \frac{24*3600G_{sc}}{\pi}(1+0.033\cos\frac{360n}{365})\times \left(\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta\right)[J/m^2] \qquad (33.7.1)$$

حساب $\overline{H}_o$ الأشعة خارج الغلاف الجوي اليومية الشهرية تكون مفيدة . من أجل خطوط عرض من 60+ الى 60- يمكن حسابها باستخدام المعادلة (33.7.1) و n ، δ اليوم الاسمي في الشهر من الجدول (1.7.1) إن $\overline{H}_o$ تابعة لخطوط العرض في نصفيّ الكرة الشمالي والجنوبي. الجدول (2.7.1) يعطي قيم دقيقة لـ $\overline{H}_o$ من أجل أي خط عرض .

الجدول (2.7.1) شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي حسب الموقع الجغرافي

φ	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
90	0.0	0.0	1.2	19.5	37.2	44.8	41.2	26.5	5.4	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	2.2	19.2	37.0	44.7	41.0	26.4	6.4	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	4.7	19.5	36.6	44.2	40.5	26.1	9.0	0.0	0.0	0.0
75	0.0	0.7	7.8	21.0	35.9	43.3	39.5	26.3	11.9	2.2	0.0	0.0
70	0.1	2.7	10.9	23.1	35.3	42.1	38.7	27.5	14.5	4.9	0.3	0.0
65	1.2	5.4	13.9	25.4	35.7	41.0	38.3	29.2	17.7	7.8	2.0	0.4
60	3.5	8.3	16.9	27.6	36.6	41.3	38.8	30.9	20.5	10.5	4.5	2.0
55	6.2	11.4	19.8	29.6	37.6	41.8	39.4	32.6	23.1	13.6	7.3	4.8
50	9.1	14.4	22.5	31.5	38.5	42.3	40.0	34.1	25.5	16.7	10.3	7.7
45	12.2	17.4	25.1	33.2	39.2	41.7	40.4	35.3	27.8	19.6	13.3	10.7
40	15.3	20.3	27.4	34.6	39.7	41.7	40.6	36.4	29.8	22.0	16.6	13.7
35	18.3	23.1	29.6	35.8	40.0	41.5	40.6	37.3	31.5	25.0	19.3	16.6
30	21.3	25.7	31.5	36.8	40.0	41.1	40.4	37.8	33.2	27.4	22.2	19.9
25	24.2	28.2	33.2	37.5	39.8	40.4	40.0	38.2	34.6	29.6	25.0	22.9
20	27.0	30.5	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.2	35.6	31.6	27.7	25.8
15	29.6	32.6	35.9	38.0	38.5	38.4	38.3	38.0	36.4	33.4	30.1	28.5
10	32.0	34.4	36.8	37.9	37.5	37.0	37.1	37.5	37.0	35.0	32.4	31.1
5	34.2	36.0	37.5	37.4	36.3	35.4	35.6	36.7	37.2	36.3	34.5	33.5
0	36.2	37.4	37.8	36.7	34.8	33.5	34.0	35.7	37.2	37.3	36.3	35.7
-5	38.0	38.5	37.9	35.8	33.0	31.4	32.1	34.4	36.9	38.0	37.9	37.6
-10	39.5	39.3	37.7	34.5	31.1	29.2	29.9	32.9	36.3	38.5	39.3	39.4
-15	40.8	39.8	37.2	33.0	28.9	25.8	27.6	31.1	35.4	38.7	40.4	40.9
-20	41.8	40.0	36.4	31.3	26.6	24.2	25.2	29.1	34.3	38.6	41.2	42.1
-25	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	23.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
-30	43.0	39.7	34.0	27.2	21.4	16.7	19.9	24.6	31.2	37.6	42.0	43.8
-35	43.2	39.1	32.5	24.8	18.6	15.8	17.0	22.1	29.3	36.6	42.0	44.2
-40	43.1	38.2	30.6	22.3	15.8	12.9	14.2	19.4	27.2	35.5	41.7	44.5
-45	42.8	37.1	28.6	19.6	12.9	10.0	11.3	16.6	24.9	34.0	41.2	44.5
-50	42.3	35.7	26.3	16.8	10.0	7.2	8.4	13.8	22.4	32.4	40.5	44.3
-55	41.7	34.1	23.9	13.9	7.2	4.5	5.7	10.9	19.8	30.5	39.6	44.0
-60	41.0	32.4	21.2	10.9	4.5	2.2	3.1	8.9	17.0	28.4	38.7	43.7
-65	40.5	30.6	18.5	7.9	2.1	0.3	1.9	5.2	14.1	26.2	37.8	43.7
-70	40.8	28.8	15.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.5	11.1	24.0	37.-	44.5
-75	41.9	27.6	12.6	2.1	0.0	0.0	0.0	0.5	8.0	21.9	36.4	46.2
-80	42.7	27.4	9.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	20.6	35.8	47.1
-85	43.2	27.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.3	35.3	47.6
-90	43.3	27.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	20.4	35.2	47.8

الفصل الثاني

مكونات أنظمة التسخين الشمسية

Components of solar thermal plants

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مكونات أنظمة التسخين الشمسية

Components of solar thermal plants

1.2. المجمع الشمسي (The Collector):

تشكل المجمعات جزءاً أساسياً من أنظمة التسخين الشمسي حيث تحول جزئياً الشعاع الشمسي الى حرارة ، ينتقل جزء من هذه الحرارة إلى الخزّان أو تنتقل الى ناقل الحرارة الذي يجري خلال المجمع.

الشكل (1.1.2) يبين المكونات الرئيسية للمجمع المسطح من النوع السائل.

1.1.2. مكونات المجمع :

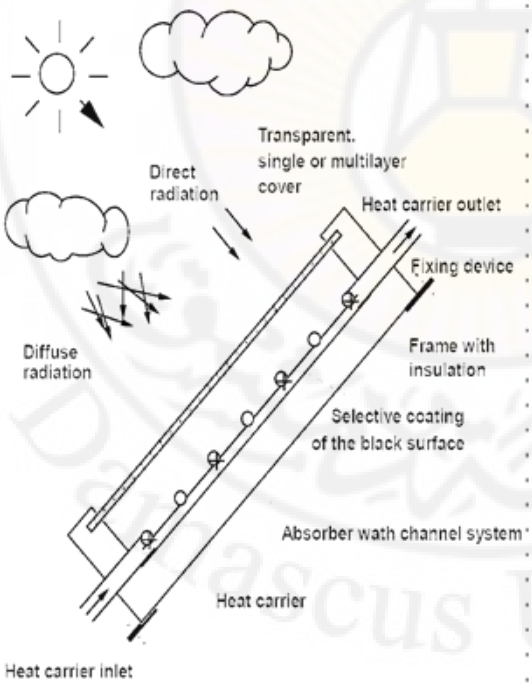
يتألف المجمع من السطح الماص والغطاء الشفاف والإطار والعازل الحراري بالإضافة لمدخل المائع الناقل للحرارة ومخرجه مضافاً إليها طرق التثبيت وهي موضحة بالاعتماد على تصميم المجمع، على كل حال، يتضمن السطح الماص خطوط الأنابيب المناسبة للمائع الناقل للحرارة وهو جزء أساسي في معظم التصميمات .

1.1.1.2. الماص (The Absorber):

الماص يحوّل الماص الإشعاع الشمسي قصير الموجة إلى حرارة (تحويل حراري- ضوئي). إنّ وظيفة "امتصاص الأشعة" تكون باستخدام مواد لها قدرة امتصاص عالية تماماً ضمن الطيف

المرئي. لذلك يصنع الماص من مواد معدنية أو من مواد صناعية. في أبسط الحالات، يدهن سطح الماص المستقبل للأشعة باللون الأسود (درجة حرارة الماص الأعظمية حوالي [°C]130).
في حال استخدام أعداد كبيرة من الماصات تدهن السطوح المستقبلة للأشعة بمواد انتقائية (درجة حرارة الماص الأعظمية حوالي [°C]200).

يتدفق ناقل الحرارة ضمن الأقنية داخل الماص، ويحول الطاقة من الإشعاع الشمسي الوارد على الماص إلى حرارة داخل الماص حيث تنقل للوسيط الناقل للحرارة. المواد التي تصنع منها الأنابيب في الماص ومقطعها العرضي وطولها وموضعها ضمن المجمع يمكن أن تكون مختلفة.



Cover
Transparent material:
- Single pane
- Solar compound pane
- Plastic plates or sheets

Box
Material:
- Aluminum
- Galvanized steel plate
- Plastic
- Wood

Insulation
Material:
- Polyurethane
- Mineral wool
- Fiber-glass wool

Absorber
black
Material:
- Metall (Cu, Al, Fe)
- Plastic (e.g. Polypropylene, Polyethylene, EPDM)

Heat carrier
Material:
- Water (with antifreeze)
- Air

الشكل(1.1.2) المكونات الرئيسية والمواد التي تكون لاقط شمسي مسطح نوع سائل

الماصات المتطورة لها غطاء انتقائي ويصل الى درجة حرارة الركود فوق [°C] 200 من دون عزل الفراغ. لفهم وظيفة الغطاء الماص من الضروري معرفة بعض المبادئ الأساسية حول الانبعاثية والامتصاصية وانعكاس الاشعة.

أي جسم درجة حرارته فوق درجة الصفر المطلق يبعث أشعّة. مقدار الأشعّة المنبعثة عند طول الموجة المعطى يعتمد على درجة حرارة الجسم وعلى ميّزات السطح. مقدار الأشعّة المنبعثة بشكل كامل من الجسم الأسود يكون تابعاً لطول الموجة ولدرجة الحرارة ويعبّر عنه بقانون Planck المعروف للجسم الأسود المشع ويعبر عنه بالمعادلة (1.1.2):

$$E_{b\lambda}(\lambda,T)=\frac{C_1}{\lambda^5\left[\exp(C_2/\lambda T)-1\right]} \qquad (1.1.2)$$

حيث:

$$C_1=2\pi hc_0^2=3.742\cdot10^8[W\cdot\mu m^4/m^2]$$
$$C_2=hc_0/k=1.439\cdot10^4[\mu m\cdot K]$$

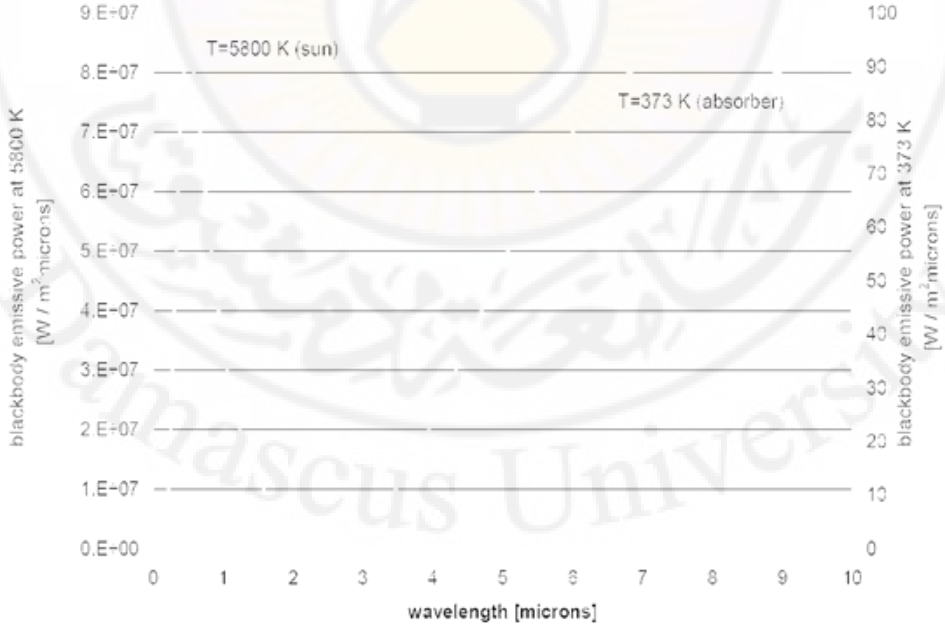
T هي درجة حرارة السطح و λ هي طول موجة الأشعّة المنبعثة وتقدّر بـ [μm]. لايوجد سطح يمكن أن يبعث أشعّة أكثر من الجسم الأسود، ولكن يمكن أن يبعث أقل. نسبة الأشعة المنبعثة من الجسم الحقيقي عند درجة الحرارة T إلى تلك المنبعثة من الجسم الأسود عند درجة الحرارة نفسها تدعى الانبعاثية (emissivity) ε. لأنّه من قانون كيرشوف: الامتصاصية α عند طول موجة معطى يساوي الانبعاثية عند طول الموجة نفسه ، المعادلة (2.1.2):

$$\alpha_\lambda=\varepsilon_\lambda \qquad (2.1.2)$$

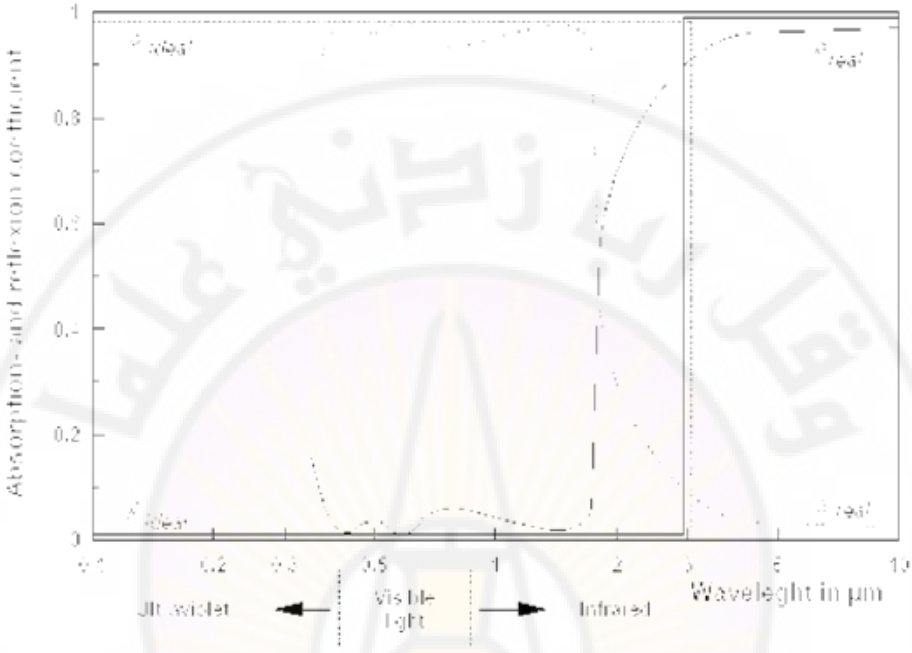
من مميزات الماص أنّه غير نفوذ للإشعاع (معامل النفوذيّة τ =0). لذلك كما يظهر من المعادلة (3.1.2) مجموع معامل الامتصاصية α و معامل الانعكاسية ρ للسطح المعطى يساوي الواحد:

$$\alpha+\rho=1 \qquad (3.1.2)$$

الماص المثالي لايعكس الاشعاع ذا الموجة القصيرة أي($\rho_{\lambda<3\mu m}=0$) ويمتص الإشعاع كله أي ($\alpha_{\lambda<3\mu m}=1$). بما أنّ إشعاعات الأشعة من الماص الى السماء هي ضياعات حرارية، وقوة الإشعاع في أطوال الموجات تقابل درجة حرارة تشغيل الماص فيجب أن تكون صفراً . أطوال موجات إشعاعات الماص المحتملة يمكن أن تحدد عن طريق إشعاع الجسم الأسود في درجات الحرارة المطابقة انظر الشكل (2.1.2). قوة الإشعاعية لأطوال موجات أكبر من$3\mu m$ يجب أن تكون صفراً ، لأنه اعتماداً على قانون كيرشوف (المعادلة (2.1.2)) فإنّ الامتصاصية أيضاً عند أطوال الموجات هذه يجب أن تكون صفراً . طلاء الماص الذي يبدي هذه الميزات يدعى طلاءً انتقائياً. الشكل (3.1.2) يبين الامتصاصية لسطح اللاقط المثالي ولسطح ماص حقيقي مغطى بطلاء انتقائي.



الشكل (2.1.2) إشعاع الجسم الأسود في درجة الحرارة السطحيّة الفعّالة للشمس وفي درجة حرارة تشغيل اللاقط الشمسي.



الشكل (3.1.2) معامل الامتصاصα ومعامل الانعكاسρ لماص مثالي وماص حقيقي (Kaltschmitt et al.,2007)

يبين الجدول (1.1.2) معامل الامتصاص α_S ومعاملات النفوذية والانعكاسية لأنواع كثيرة من مواد مختلفة من أجل أطوال موجات الطيف المرئي وتحت الأحمر من طيف الإشعاع الشمسي و $\alpha_I=\varepsilon_I$. بالمقارنة بين السطوح الماصة غير الانتقائية والسطوح الماصة الانتقائية يتبين درجات عالية لـ α_S/ε_I.

معامل الامتصاصية من طيف الإشعاع الشمسي α_S ، معامل الانبعاثية في طيف الإشعاع تحت الأحمر ε_I . تُدعى مثل هذه الطبقات أيضاً طبقات α/ε. بالنسبة للماص الانتقائي الموصوف في الجدول (1.1.2)، تكون النسب α_S/ε_I بين (19 ÷ 9). لأوكسيد التيتانيوم على سبيل المثال يتبين أنّ النسبة عالية $\alpha_S/\varepsilon_I=19$.

الجدول (1.1.2) المميزات البصرية للماص (Kleemann according to 2007(Streicher 1993)

	الإشعاع الشمسي المرئي			الأشعة تحت الحمراء			
	$\alpha_S(\varepsilon_S)$	τ_S	ρ_S	$\alpha_l(\varepsilon)$	τ_l	ρ_l	α_S/ε_l
ماص غير انتقائي	0.97	0	0.03	0.97	0	0.03	1.00
ماص انتقائي: نيكل أسود	0.88	0	0.12	0.07	0	0.93	12. 57
كروم أسود	0.87	0	0.13	0.09	0	0.91	9. 67
شبكة المنيوم	0.70	0	0.30	0.07	0	0.93	10.00
أكسيد نتريد التيتانيوم	0.95	0	0.05	0.05	0	0.95	19.00

2.1.1.2 الغطاء الشفاف (The cover):

الغطاء الشّفّاف الخارجي للمجمعات يجب أن يكون نفوذاً للأشعة الشمسية قدر الإمكان ويحمي السطح الماص الأسود من الإشعاع الطويل الموجة. وفي الوقت نفسه يجب أن يخفّض الضياعات الحرارية الحملية للوسط الخارجي. الأغطية المثالية يكون معامل النفوذية لها مساوياً الواحد في مجال الأشعة الشمسية (الطيف المرئي) ومعامل الانعكاسية في مجال الأشعة تحت الحمراء يساوي الواحد. الامتصاصية يجب أن تكون صفراً لكل المجال. في الواقع لايمكن الوصول الى هذه الشروط . الجدول (2.1.2) يبين مود مختلفة من الأغطية.

الجدول(2.1.2) المميزات البصرية للغطاء الشفاف

	الضوء المرئي			الأشعة تحت الحمراء		
	$\alpha_S(\varepsilon_S)$	τ_S	ρ_S	$\alpha_l(\varepsilon)$	τ_l	ρ_l
ألواح زجاجية	0.02	0.97	0.01	0.94	0	0.06
زجاج عاكس للأشعة تحت	0.10	0.85	0.05	0.15	0	0.85

الحمراء(In_2O_3)						
زجاج عاكس للأشعة تحت	0.20	0.79	0.01	0.16	0	0.84
الحمراء(ZnO_3)						

بالاعتماد على الجدول، يفي الزجاج بمتطلبات النفوذية من أجل الطيف الشمسي بشكل جيد. الضوء تحت الأحمر لايستطيع العبور خلاله، لكنه في الغالب يمتصه. إذا كانت درجة الامتصاص عالية، فإنّ درجة حرارة الزجاج سترتفع وكذلك الضياعات إلى الوسط المحيط بسبب الحمل والإشعاع. هذه الضياعات يمكن تخفيضها باستعمال أغطية تعكس الأشعة في مجال أطوال الأمواج تحت الحمراء.

المواد التي تستعمل لهذا الغرض يمكن أن تكون صفائح زجاجية، أو ألواحاً صناعية أو ورق قصدير صناعي (على سبيل المثال: مصنوع من بولي إيتلين أوتيفال). المستوى العالي لإجهاد المادة يُسبب غالباً تقصُّفاً (هشاشة) وتعتيم في المواد الصناعية. المنطقة الخارجية يمكن أن تخدش بسهولة شديدة أثناء تعرضها للجو. وهكذا فإنّ قيم النفوذية من الأغطية الصناعية في أغلب الأحيان غير ثابتة لمدة طويلة. لذلك يستعمل الزجاج في أغلب الأحيان. في الغالب يستخدم زجاج آمن للمجمعات الشمسية والذي يتميز بمستوى عالٍ من الشّفّافية ومقاوم للندى. إضافة إلى ذلك، يحوي كمية حديد قليلة ليتمكن من تخفيض قدرة الامتصاص في الطيف القصير الموجة. وهكذا فإنه يتجنب التسخين الزائد للصفائح الزجاجية. تُخفّض الضياعات الحرارية الحملية للوسط المحيط الأبرد. طبقات عاكسة للأشعة تحت الحمراء تكون في أغلب الأحيان فراغاً مخلّى يطلى الغطاء من الجهة السفلية ليعكس الأشعة الحرارية طويلة الموجة من الماص للغطاء باتجاه الماص. وبهذا فإنّ الضياعات يمكن أن تُخفض كثيراً.

3.1.1.2 صندوق المجمع(Collector box):

يحوي صندوق المجمع المكونات المطلوبة لنفوذية الأشعة، والامتصاص، انتقال الحرارة والعزل، ويمكن أن يُصنع من الألمنيوم، أو من لوح فولاذي مغلفن، أو من مادة صناعية أو من الخشب. وهو يعطي المجمع التثبيت الميكانيكي ويعزله عن الوسط المحيط . على أية حال،

يجب تأمين مستوى منخفض من التهوية لتخفيض الضغط العالي أو المنخفض والذي سببه تأرجح درجة الحرارة وإزالة الرطوبة المحتملة.

يمكن أن يختلف تصميم الصندوق حسب المكان الذي سيتم تركيبه، كالصناديق التي تركب على السقوف القرميدية وصناديق تندمج مع السقوف الداخلية لتركيب المجمعات على سقوف مزفتة. الصناديق المركبة خارجاً على السقف لها غطاء على الخلف (مثلاً مصنوعة من الألمنيوم)، بينما الصناديق المدمجة مع السقف لاتحتاج إلى ذلك.

4.1.1.2 مكونات أخرى (Other component):

يصنع العزل الحراري من مواد عزل قياسية (مثلاً بوليريثان- صوف زجاجي- صوف معدني) وهذا يعتمد على مجموعة المكونات الأخرى. على الوجه الخارجي للصندوق، يوجد أنبوب لدخول ناقل الحرارة وآخر لخروجه. علاوة على ذلك، فإن المكونات الضرورية لربط المجمع توجد خارج الصندوق. في أغلب الأحيان توجد مركبات إضافية لتركيب المجمع على السقف بزاوية معينة مع ميل السقف. يوجد فتحات خاصة لقياس درجات الحرارة الداخلية أو الخارجية.

5.1.1.2 . توزع اللواقط على سطح البناء :

عندما تكون مساحة المجمعات كبيرة فيجب أن تتوضع على صفوف نظراً لأن مساحة السطح قد لايتسع لأن توضع على صف واحد. يبين الشكل(4.1.2) البعد بين صفي اللواقط .



الشكل (4.1.2) البعد بين اللواقط

يتم حساب البعد بين الصفوف حسب الشكل:

$$a = h \cdot \sin \beta$$

$$d = h \cdot \cos \beta$$

$$\alpha = 90 - \text{latitude} - 23.5$$

$$b = a / \tan \alpha$$

ومنه يكون البعد بين أسفل كل لاقط والذي يليه هو = d+b

2.1.2. أنواع المجمعات وتطبيقاتها العملية:

(Collector types and practical applications)

يمكن تمييز التصاميم المختلفة للمجمع تبعاً للمائع الناقل للحرارة وطريقة امتصاص الإشعاع .

طبقاً لهذه الطريقة توجد أربعة تصاميم رئيسية للمجمع :

1- مجمعات مسطحة غير مركزة (سائلة).

2- مجمعات مسطحة غير مركزة (هوائية).

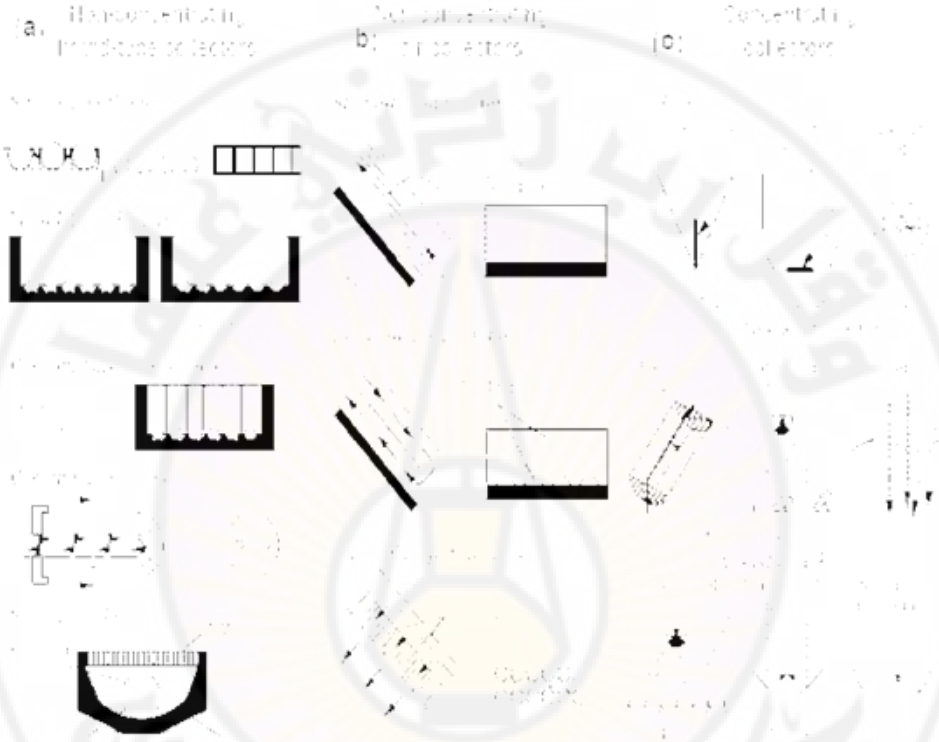
3- مجمعات سائلة مركزة للإشعاع .

4- مجمعات هوائية مركزة للإشعاع .

يوجد الكثير من الاختلافات بين التصاميم الأربعة الأساسية. الشكل(5.2) يظهر التصاميم الأفضل من الناحية التسويقية .

1.2.1.2. مجمعات مسطحة غير مركزة (سائلة).

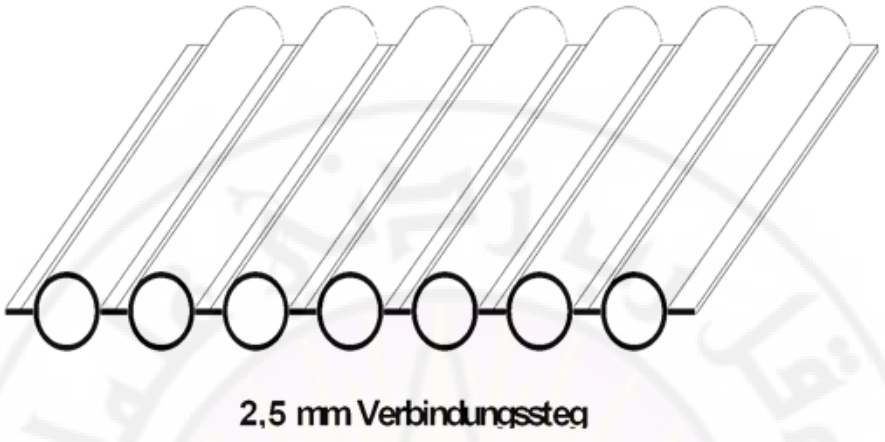
هذا التصميم الأساسي للمجمع يستخدم في معظم الحالات وفي أبسط شكل له يتألف من حصيرة ماصة مع نظام متمم من الأنابيب الناقلة للحرارة (شكل (5.1.2)على اليسار). يدعى تصميم المجمع هذا **بالمجمع نوع «ماص»**. يفضل استخدامه لتسخين المسابح المفتوحة.



الشكل (5.1.2) نظرة عامة لأنواع اللواقط المختلفة(C نسبة التركيز للواقط المركزة للإشعاع)(Streicher 2007)

1.مجمعات المسابح:

مجمعات المسابح لايطلب عملها عند درجات حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط. أحياناً تكون درجة حرارة السائل في الماص أقل من درجة حرارة الوسط المحيط. لذلك فإنّ الضياعات بسبب التوصيل الحراري والحمل ليست عالية جداً، ولهذا يمكن الاستغناء عن الغطاء الزجاجي من الأعلى وصندوق المجمع والعازل في الخلف كما هو مبين في الشكل (6.1.2). وبسبب غياب ضياعات الانتقال من الغطاء الزجاجي فإنّ قيمة α لمجمعات المسابح يمكن أن تكون أعلى من تلك التي تكون لمجمعات مسطحة ذات غطاء.



الشكل (6.1.2) اللاقط المستخدم للمسابح

الشكل (7.1.2) أمثلة عن اللواقط المستخدمة في المسابح

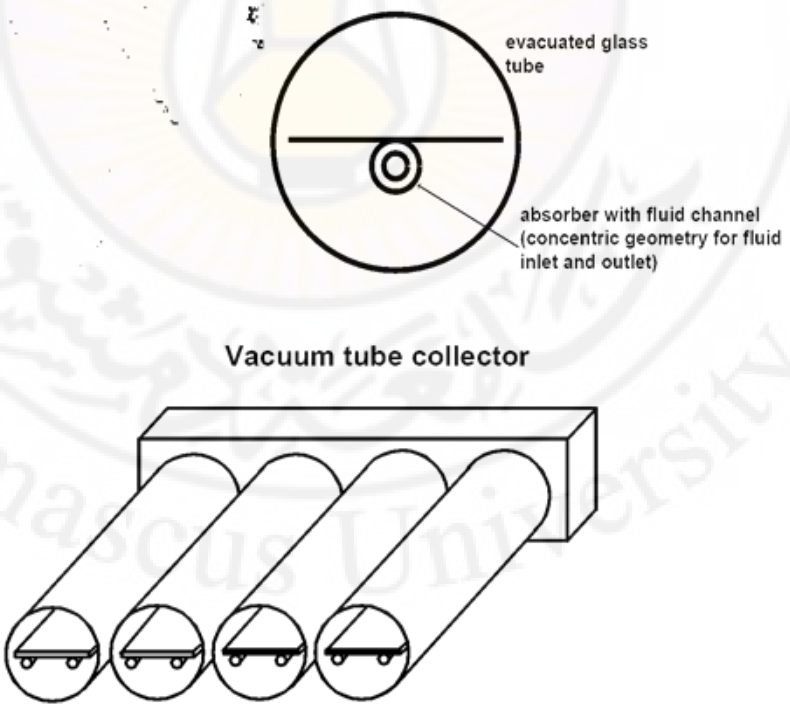
2. مجمع مسطح مفرّغ :

عندما نحتاج إلى درجات حرارة أعلى تستخدم المجمعات المسطحة في الكثير من الحالات الشكل (5.1.2a) اللاقط الثاني. هذه المجمعات تكون ذات غطاء شفاف أو أكثر.

بغرض تخفيض معظم الضياعات الحرارية الحملية من السطح الماص للغطاء، يمكن أن يكون الفراغ بين اللوحين مخلّى، وهذا يحوّل المجمع إلى **مجمع مسطح مفرّغ**. بسبب فرق الضغط ، يجب أن يدعّم لوح الغطاء من الداخل في تلك الحالة على الشكل (5.1.2a) اللاقط الثالث..

3. المجمع الأنبوبي المفرغ :

الشكل الآخر للمجمع المفرغ هو أنبوب الزجاج المخلّى **evacuatd glass tube**، حيث يوجد السطح الماص داخل الأنبوب المفرغ أو أن الفراغ الهوائي يوجد بين أنبوبين زجاجيين متحديّ المركز والسطح الماص في داخل الأنبوب الداخلي والضغط طبيعي كمايبينه الشكل (8.1.2)، ممّا يزيد توازن الفراغ لفترة طويلة، لأنّ الأنابيب الماصة لاتخرج من الفراغ إلى الوسط الخارجي .



الشكل (8.1.2) لاقط شمسي أنبوبي مفرغ

يمكن أن تركَّب المجمعات إمّا على السقف (مع تجهيزات للتركيب) أو في السقف كجزء من السقف كما هو مبين في الأشكال (9.1.2) و (10.1.2). في جنوب أوروبا غالباً تُركَّب أنظمة الدوران الطبيعي على السقف، أمّا أنظمة الدوران القسرية في وسط أوروبا فتكون مدمجة مع السقف (سقوف مائلة).

الشكل (9.1.2) تركيب اللواقط الشمسية على سقوف أبنية كبيرة متعددة العائلات (اليسار) وعلى سقف عائلة واحدة(اليمين)

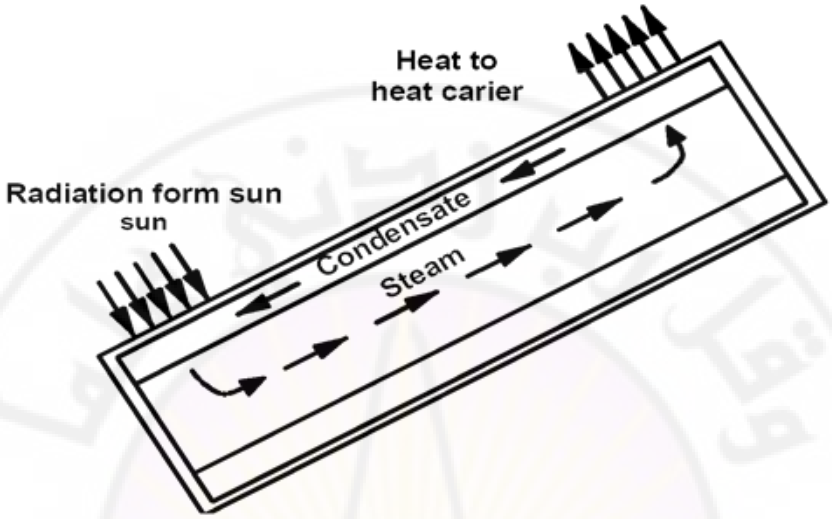
الشكل (10.1.2) تركيب لواقط بشكل مدمج على الواجهات

4. المجمّع الخازن:

اللاقط بأسفل الشكل (5.1.2a)، هو نوع خاص من المجمعات المسطحة. هو اتحاد المجمع وخزّان الحرارة في مركب واحد. يركّب خزان مقاوم للضغط في المركز من محرق مرآة . مساحة الخزان تغطى إمّا بغطاء انتقائي أو تدهن بالأسود. المجمع الخازن يُربط مباشرة بأنابيب الماء البارد والحار. الأشعة الواردة على المجمع تنعكس على الخزان بواسطة المرآة، جريان الماء خلال الخزان يمتص الحرارة ويمكن بعد ذلك أن يستخدم للتدفئة. يركّب عادة سخان إضافي بعد المجمّع الخزّان لتضمن تحقيق درجة حرارة الماء الى الدرجة المطلوبة عندما يكون الربح الحراري الشمسي غير كاف. حسنات هذا التصميم أنّ عدد أجزائه قليلة وبنيته مضغوطة. سيئته الرئيسية هي الضياع الحراري الحملي العالي والذي يؤدي إلى انخفاض هام بدرجة الحرارة في الخزّان طوال الليل أو في حالة الطقس السيئ. إذا ركب على السقف، فإن وزن الماء يجب أن يؤخذ بالحسبان لأغراض استاتيكية السقف. علاوة على ذلك، يتدفق خلال المجمع ماء الحنفية العادي لذا فهناك خطر من الصقيع في ظروف الطقس السيء خلال الشتاء.

5. أنبوب الحرارة:

هو نوع خاص آخر من المجمع السائل، حيث يستخدم تغيير الطور في الوسط العامل من أجل نقل الحرارة عند نهاية الأنبوب البارد والحار كما يبينه الشكل (11.1.2). وهكذا فإن الحرارة يمكن أن تنقل عند فرق درجات حرارة منخفضة جداً. بالرغم من هذا ومع وجود ميزات أخرى (مثلاً: تنظيم آمن، لا فرط تسخين)، فإن هذا المفهوم لم يقبل على نحو واسع حتى الآن بسبب كلفة إنتاجه الكبيرة.



الشكل (11.1.2) لاقط شمسي نوع أنبوب حراري

2.2.1.2. مجمعات مسطحة غير مركزة (هوائية):

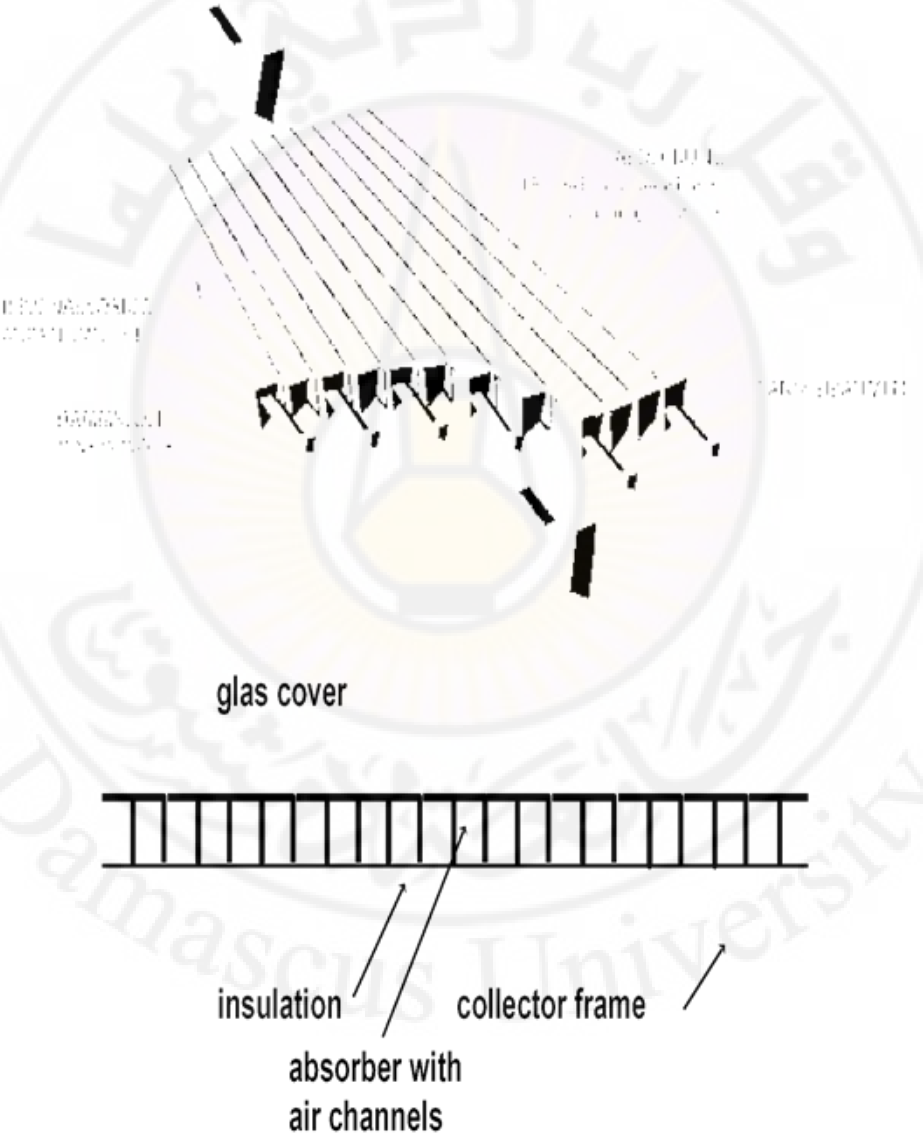
يبين الشكل (5.1.2b) أيضاً أنواعاً مختلفة لمجمعات غير مركزة هوائية أي أن الوسيط الناقل للحرارة هو الهواء ويبين الشكل (12.1.2) أمثلة عن اللواقط الشمسية الهوائية . و بسبب أنّ مُعامل انتقال الحرارة صغير بين السطح الماص والهواء، فإن منطقة التلامس بين السطح الماص وتدفق الهواء يجب أن تكون كبيرة . يمكن تحقيق هذا على سبيل المثال باستخدام ماصّات مضلعة، أو أنظمة مرور متعددة أو ماصات بنيتها مُثقّبة كما هو مبين في الشكل (13.1.2).

هنا لا يوجد خطر من الصقيع، ولكن يمكن أن تحدث مشاكل من التآكل وزيادة التسخين. المجمعات الهوائية تركيبها أبسط بالمقارنة مثلاً مع المجمعات السائلة. حتى التسرب من ناقل الحرارة

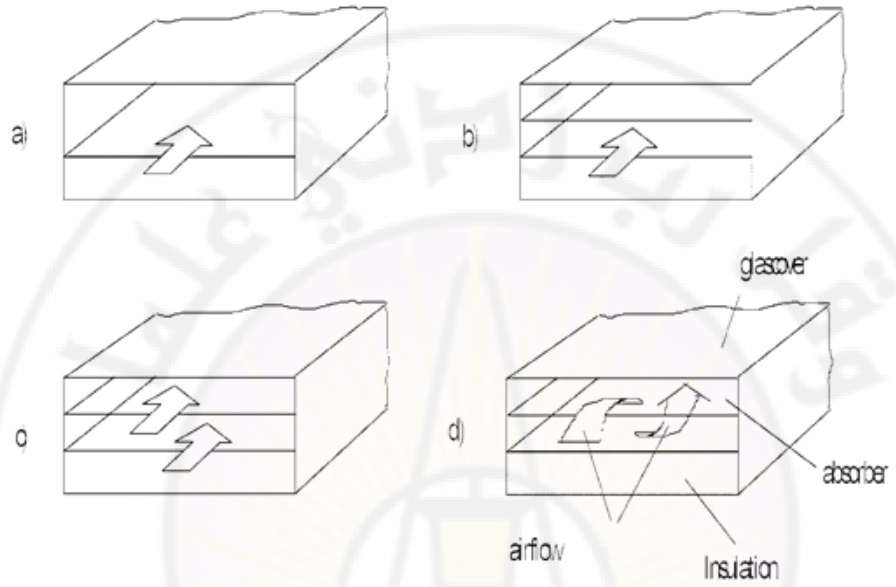
غير معقّد نسبياً. **المساوئ** هي القنوات الكبيرة، واستطاعة الدفع كبيرة تحتاج في أغلب الأحيان إلى مراوح.

استخدام المجمعات الهوائية لتدفئة الأبنية أو لتزويد الأبنية بالمياه الحار ليست واسعة الانتشار في شمال أوروبا ووسطها بشكل رئيسي لأن أنظمة التدفئة معتمدة على شبكات توزيع الماء الحار

الشائع الاستعمال. ومع ذلك يستخدمونها في حالات خاصة، مثلاً أنظمة شمسية لتجفيف الأغذية وبيوت منخفضة الطاقة باسترداد حرارة الهواء العادم الذي يملك نظام تجميع وتوزيع الهواء وهكذا لا يحتاج لنظام التدفئة بالماء.



الشكل (12.1.2) أمثلة للواقط شمسية هوائية



الشكل (13.1.2) أمثلة عن تدفق الهواء في اللواقط الشمسية الهوائية

3.2.1.2. المجمعات المركّزة للإشعاع (الهواء أو السائل):

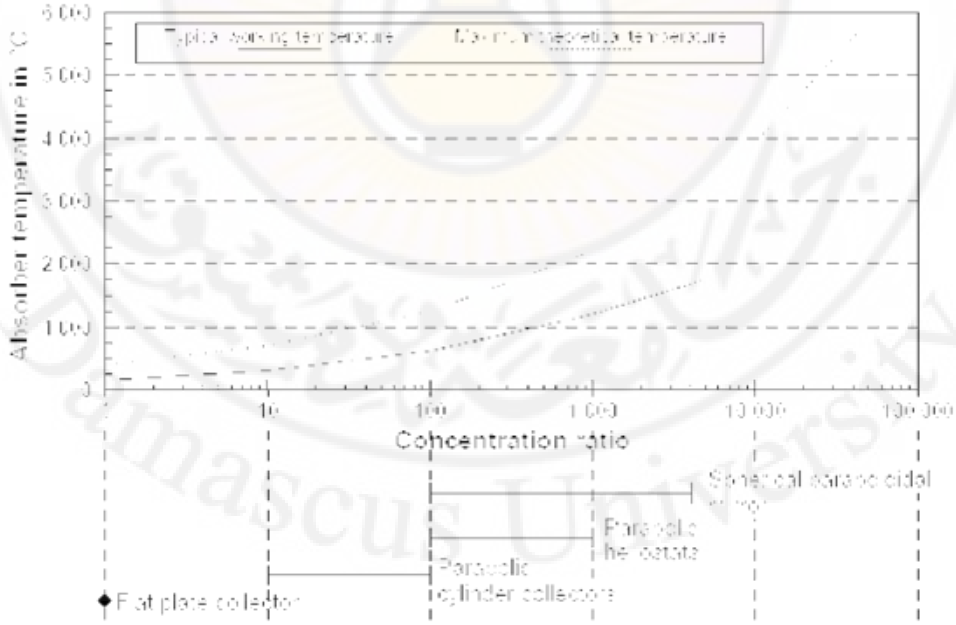
هذه الأنواع من المجمعات تعكس قسماً من الأشعة الشمسية من خلال منطقة المرآة، وهكذا تُركّز الأشعة مباشرة على منطقة الماص. مستوى تركيز الأشعة الشمسية هي **نسبة التركيز** أو**معامل التركيز C**، وهو يحدّد كنسبة مساحة اللاقط الفعّالة البصرية إلى مساحة الماص التي تصطدم بها الأشعة. نسبة التركيز الأعظمية النظريّة 46211 وهي نتيجة المسافة بين الشمس والأرض ونصف قطر الشمس. تقنياً عوامل التركيز تصل إلى حد أعلى من 5000 ويمكن إنجازها حالياً (Duffie&Beckman1991)، [(Kleemann 1993)، (Fisch1993)].

بشكل رئيسي، درجة الحرارة التي يمكن الوصول إليها في الماص تعتمد على نسبة التركيز، درجة حرارة الماص الأعظمية النظرية تساوي تماماً درجة حرارة سطح الشمس في حالة نسبة

التركيز القصوى حوالي[°C]5800 . درجات الحرارة التي يمكن تحقيقها فعلياً في الماص أقل، مثلاً في المرايا الدائرة ذات القطع المكافئ مثلاً يمكن تحقيق درجة حرارة في الماص كحد أعلى[°C] 1600 الشكل (14.1.2)

المجمعات المركزة يمكن أن تقسم إلى ثلاث مجموعات: **أنظمة ثابتة، أنظمة ذات محور واحد ، أنظمة ذات محورين** الشكل (5.1.2c). المجمعات المركزة الثابتة لها أقل نسبة تركيز والأنظمة ذات محورين لها أعلى نسبة. والسؤال الذي يطرح: أي ناقل حرارة أفضل للاستخدام في هذه المجمعات ؟ المجمعات السائلة تفضّل في مجال درجات الحرارة المنخفضة، بينما يستخدم الوسط الغازي أيضاً مع زيادة درجات الحرارة .

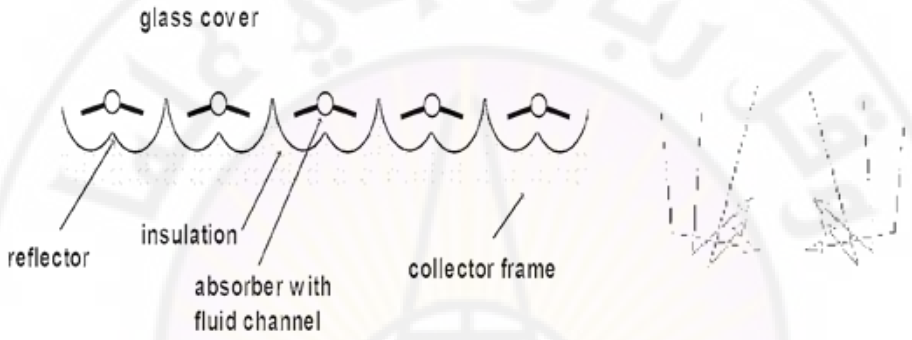
بما أنّ الإشعاع المباشر فقط يمكن تركيزه، لذلك فانّه يلزم لاستخدام المجمعات المركّزة معرفة الإشعاع المباشر، ومن وجهة النظر التقنية تستخدم هذه المجمعات في المناطق ذات المستوى العالي من الأشعة المباشرة.



الشكل (14.1.2) درجة حرارة الماص الأعظمية النظرية ودرجات الحرارة الفعلية للواقط المركزة للإشعاع

(Duffie & Beckman 1991)

يوجد نوع خاص من المجمعات المركزة للاشعاع، والذي يمكن أن يثبّت بشكل مشابه للمجمعات المستوية هو مجمع التركيز CPC كما هو موضح في الشكل (15.1.2)، إذا كان من النوع المخلّى فيمكن تحقيق درجات حرارة فوق [°C]300 في حالة الركود.



الشكل (15.1.2) أمثلة عن لواقط الـ CPC

3.1.2. توازن الطاقة في المجمع الشمسي

:(Energy balance of the solar collect)

من أجل تطبيق مبدأ التوازن الطاقي على لاقط حراري شمسي فإنه يتم عادة فصل السطح الذي يمتص الإشعاع الشمسي القادم وموازنة الطاقة الداخلة إليه والخارجة منه. يسمى هذا السطح في المجمعات المسطحة بـ "السطح الماص" كما مرّ سابقاً و يسمى غالباً في المجمعات الشمسية المركزة بـ "المستقبل". يمكن كتابة معادلة التوازن الطاقي للسطح الماص (أو المستقبل) لمجمع حراري شمسي بالمعادلة (4.1.2):

$$Q_{useful} = \dot{E}_{opt} - Q_{loss} \ldots \quad [W] \quad .... \quad (4.1.2)$$

حيث:

Q_{useful} [W]: معدل الطاقة "المفيدة" المغادرة للسطح الماص.

$\dot{E}_{opt}$ [W]: معدل الطاقة الإشعاعية البصرية (ذو طول الموجة القصير) الساقطة على السطح الماص.

Q_{loss} [W]: معدل الضياع الحراري من السطح الماص.

الطاقة الحرارية "المفيدة للواقط الشمسية الحرارية يقصد بها معدل الطاقة التي تغادر اللاقط، ويعبر عنه عادة بمعدل الطاقة التي يتم انتزاعها من قبل سائل نقل الحرارة الذي يمر عبر المستقبل أو الماص كماهو مبين بالمعادلة (5.1.2):

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m} C_P (T_{out} - T_{in}) \quad [W] \quad (5.1.2)$$

حيث:

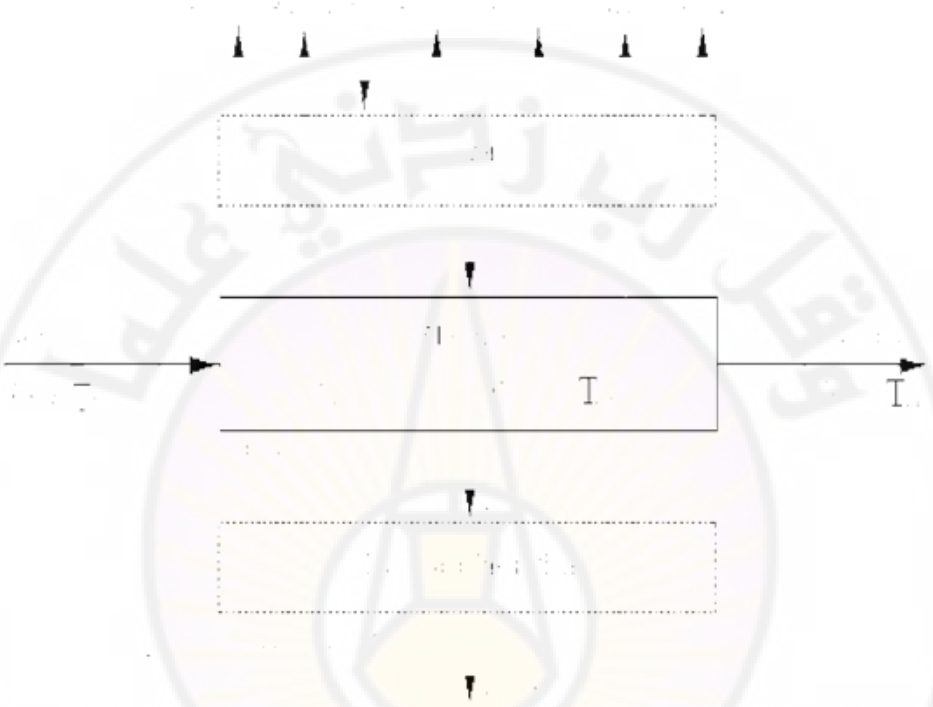
$\dot{m}$: معدل التدفق الكتلي لسائل نقل الحرارة [kg/s] 0.02 .

C_P: السعة الحرارية لسائل نقل الحرارة [J/kg.K]).

T_{out}: درجة حرارة السائل الناقل للحرارة المغادر للسطح الماص [K].

T_{in}: درجة حرارة السائل الناقل للحرارة الداخل إلى السطح الماص [K].

يبين الشكل (16.1.2) مخطط توضيحي للضياعات الحرارية في المجمع الشمسي.



الشكل (16.1.2) التوازن الطاقي للاقط الشمسي

التقاط الطاقة البصرية:

إن معدل الإشعاع البصري (ذو طول الموجة القصير) الساقط على السطح الماص/المستقبل سيكون المصدر والسبب الأساسي لوجود المجمعات الشمسية ونظم التعقب. تدعى مساحة سطح المجمع التي تسقط عليها الأشعة الشمسية بمساحة الفتحة (Aperture Area). و عندها يعبر عن الطاقة الشمسية الساقطة بالمعادلة (6.1.2):

$$\dot{E}_{inc} = I_g A_c \qquad (W) \qquad (6.1.2)$$

حيث:

$I_g [W / m^2]$: الإشعاع الشمسي الوارد إلى فتحة المجمع (إشعاع كلي أو إشعاع مباشر).

$A_c [m^2]$: مساحة اللاقط .

الإشعاع الشمسي الوارد إلى فتحة المجمع لايستفاد منه كلياً بسبب الضياعات الحرارية، وهذه الضياعات الحرارية تعتمد على نوع المجمع المدروس وتصميمه، هنا سوف نتطرق للآليات المهمة للضياعات البصرية. إن معدل الطاقة الضوئية الواصلة إلى السطح الماص هو عبارة عن الإشعاع الشمسي الساقط مضروباً بعدد من المعاملات (جميعها أصغر من 1) و التي تصف الضياعات الحاصلة كما تبينه المعادلة (7.1.2):

$$\dot{E}_{opt} = \Gamma \rho \tau_{cov.} \alpha_{abs.} I_g A_c \qquad [W] \quad (7.1.2)$$

Γ: معامل الالتقاط (نسبة الطاقة المنعكسة الداخلة أو المصطدمة بالمستقبل)

ρ: معامل الانعكاسية لجميع الأسطح.

τ: نفوذية الغطاء الشفاف.

α: امتصاصية السطح الماص أو المستقبل.

إن المعاملين الأولين يتم استخدامهما فقط في حالة المجمعات المركزة. معامل النفوذية τ هو الجزء من الإشعاع الشمسي المار عبر كل الأغطية ذات المواد النفوذة والشفافة والتي يتم العبور خلالها للوصول إلى السطح الماص، تعتمد النفوذية أيضاً على طول الموجة للضوء المار عبر المادة. على سبيل المثال فإن الزجاج نفوذ لمعظم الإشعاع في الطيف المرئي، ولكنه غير نفوذ لمعظم الإشعة تحت الحمراء. معامل الامتصاصية α يعبر عن نسبة الطاقة الممتصة (من قبل السطح الماص) من الإشعاع الشمسي الساقط على السطح الماص. إن الجسم الأسود الجيد يمكن أن يتمتع بامتصاصية أكبر من 0.98.

يمكن كتابة معادلة توازن الطاقة في المجمع الشمسي الذي مساحته Acoll والإشعاع الإجمالي Ig :

$$\dot{Q}_{coll} = I_g \cdot A_{coll} - \dot{Q}_{re,abs} - \dot{Q}_{rad} - \dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{cond} \qquad (8.1.2)$$

حيث الضياع الحراري بالإنعكاس $\dot{Q}_{re,abs}$، وبالإشعاع $\dot{Q}_{rad}$ ، وبالحمل $\dot{Q}_{conv}$ ، وبالتوصيل $\dot{Q}_{cond}$ يعبر عنها بالمعادلات (9.1.2) ÷ (11.1.2):

$$\dot{Q}_{re,abs} = I_g \cdot A_{coll} \cdot \left(1 - \tau_{cov} \cdot \alpha_{abs}\right) \qquad (9.1.2)$$

$$\dot{Q}_{rad} = A_{coll} \cdot \varepsilon_{abs} \cdot \sigma \left(\overline{T}_{abs}^{4} - T_a'^{4}\right) \qquad (10.1.2)$$

$$\dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{cond} = A_{coll} \cdot U_{coll}^{*} \left(\overline{T}_{abs} - T_a\right) \qquad (11.1.2)$$

وهكذا يعبر عن المردود النهائي للمجمع بالمعادلة (12.1.2) :

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_g \cdot A_{coll}}$$

$$= \tau_{cov} \cdot \alpha_{abs} - \frac{U_{coll}^{*}}{I_g} \cdot \left(\overline{T}_{abs} - T_a\right) - \frac{\varepsilon_{abs} \cdot \sigma}{I_g} \cdot \left(\overline{T}_{abs}^{4} - T_a'^{4}\right) \qquad (12.1.2)$$

حيث:

α_{abs} [-] معامل الامتصاصية للماص من أجل الإشعاع الشمسي،

τ_{cov} [-] معامل النفوذية للغطاء الزجاجي من أجل الإشعاع الشمسي ،

ε_{abs} [-] معامل الانبعاثية من الماص ،

σ [W/m²K⁴] ثابت Stefan-Boltzmann، $5{,}67\times10^{-8}$ W/m^{2}K^4،

$\overline{T}_{abs}$ [°C, K] درجة حرارة الماص الوسطية (K)،

T_a' [K] درجة حرارة السماء فوق المجمع،

T_a [°C] درجة حرارة الوسط المحيط حول المجمع،

$U_{coll}^{\circ}\ [W/m^2K]$ معامل الانتقال الحراري الوسطي عندما تكون ضياعات التوصيل والحمل من المجمع صفراً أو عند سرعة رياح محددة.

4.1.2. البيانات والمنحني المميّز للمجمع:

Collector data and characteristics curves

الضياعات الحرارية والبصرية هي العوامل الحاسمة لكفاءة المجمع. تحدّد الضياعات البصرية بمعامل نفوذية الغطاء وبمعامل امتصاص المجمع. يعتمد هذا الضياع فقط على بالمادة –ولايتعلّق بالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. توصف الضياعات الحرارية مع ضياعات أخرى غير ثابتة بمعامل انتقال حرارة ثابت. كتقريب أولي، هذا الضياع خطي ويعتمد على الفرق بين درجتي حرارة الماص والوسط المحيط ويتناسب عكساً مع الإشعاع.

منحني المردود الناتج لمجمع مسطح ذي غطاء واحد مبين في الشكل (17.1.2). في الحالة عندما يكون فرق درجات الحرارة كبيراً، يفترض أن يكون هذا المنحني تابع خطياً لدرجات الحرارة، نشاهد انحرافاً متزايداً عن منحني المردود الحقيقي، السبب لهذا هو الزيادة اللاخطية في إشعاع الحرارة ضمن مجال فروق درجات الحرارة هذه. لذلك ينجز التقريب للإشعاع الحراري باستخدام تربيع الحد في المعادلة (13.1.2). لاحظ أنّ المعادلة (13.1.2) هي التقريب المبسط للمعادلة (12.1.2). يشمل الحد الثاني الكثير من البارامترات والتي تكون غالباً غير معروفة أو من الصعب جداً الحصول عليها، ولهذا، ومن أجل أغراض هندسية يقدم في

هذه المعادلة بارامترات $c_0 - c_2$ والتي يمكن الحصول عليها من بيانات اختبار اللاقط التجريبية.

$$\eta_{coll} = C_0 - C_1 \cdot \frac{\bar{T}_{abs} - T_{amb}}{I_g} - C_2 \frac{\left(\bar{T}_{abs} - T_{amb}\right)^2}{I_g} \qquad (13.1.2)$$

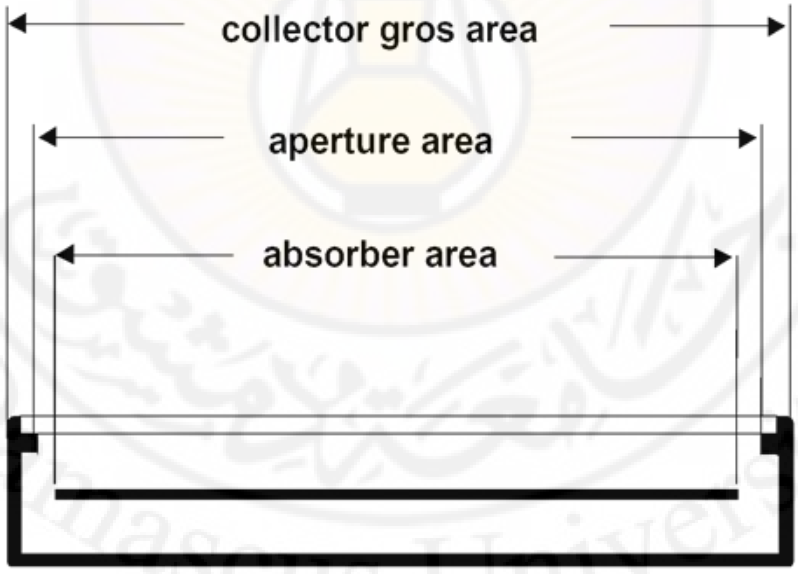
C_0 [–] معامل التحويل، المردود عندما تتساوى درجة حرارة المجمع والوسط المحيط

$$c_0 \approx \tau_{cov} \cdot \alpha_{abs}$$

$C_1\left[W/m^2K\right]$ معامل انتقال الحرارة الكلي يتعلق بالفرق بين درجة حرارة الماص ودرجة حرارة الوسط المحيط. هذا المعامل يعطى عادة عندما تكون سرعة رياح صفراً وأحياناً عندما تكون هذه السرعة 4 m/s .

$C_2\left[W/m^2K\right]$ مصطلح مربع ؛ هذا يكون أبسط تقريب لضياعات الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة بالاعتماد على معامل انتقال الحرارة.

يجب الانتباه فيما يخص مساحة المجمع حيث أنّ قيمة المردود من المجمع يمكن أن تعود الى C_1، و C_2 يمكن إمّا أن تعود الى المساحة الكلية أو إلى المساحة المعرّضة أو إلى مساحة الماص في المجمع كما يبينه الشكل (17.1.2).



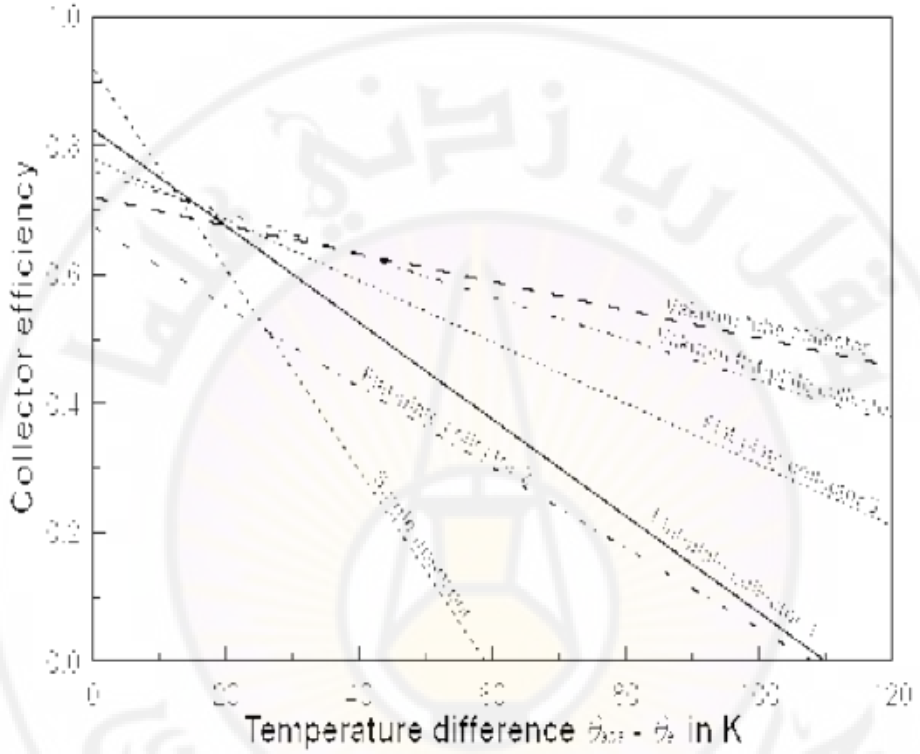
الشكل (17.1.2) تعريف مساحات اللاقط المختلفة

يبين الشكل (18.1.2) مجموعة من المنحنيات المميزة للمجمع نفسه عند مستويات مختلفة من الإشعاع. يتبين بوضوح أنَّ خط التقريب من أجل الكفاءة يصبح أكثر تسطحاً مع زيادة الإشعاع وبهذا فإنَّ التغيير في فرق درجة الحرارة بين الماص والوسط المحيط يكون تأثيره أقل.



الشكل (18.1.2) المنحنيات المميزة للواقط الشمسية المسطحة ذات الغطاء الشفاف الواحد ($\tau_{cov}\alpha_{abs}$ = 0.82) السطح المستقبل أفقي (Streicher 2007 with reference to Ladener 1993)

يبين الشكل (19.1.2) مجموعة من المنحنيات المميزة من أجل عدّة أنواع من المجمعات المركزة السائلة . الماص المفرد مساره أكثر انحداراً، ومع ذلك فإنّه يعطي حقولاً حرارية عالية، ويستخدم هذا النوع فقط عندما يكون فرق درجات الحرارة بين الماص والوسط المحيط قليلاً جداً. وهذا يكون ملائماً مثلاً للاستخدام من أجل المسابح المفتوحة التي تعمل في الصيف حيث يكون الطلب على الحرارة قليلاً من أجل هذا النوع من الاستخدامات



الشكل (19.1.2) المنحنيات المميزة لأنواع مختلفة من اللواقط المسطحة السائلة عند الإشعاع الكلي 800 [W/m^2] (Streicher 2007)

بسبب غياب الغطاء فإن $\tau_{cov}=1$ مردود اللاقط البصري له أعلى من أنواع اللواقط الأخرى عند فروق درجات حرارية صغيرة .

الجدول (3.1.2) يبين بعض العناصر النموذجية ومساحات هامة للاستعمال من أجل المجمعات السائلة غير المركزة للإشعاع والمستخدمة غالباً في وسط وشمال أوروبا. درجات حرارة ناقل الحرارة في المجمع- تعتمد على الشروط المناخية وعلى تصميم المجمع -وتكون بين 0-100[°C] خلال العمل. تأمين المياه الساخنة للمسابح المفتوحة أو المغطاة جزئياً هي من المشاريع النموذجية لاستخدامات الطاقة الشمسية. ازداد استخدام الأنظمة المركبة لتأمين المياه

الساخنة وللتدفئة . حيث أنّ% 50 من الأنظمة في النمسا وسويسرا و % 30 في ألمانيا من الأنظمة تكون أنظمة مركبة.

الجدول (3.1.2) بارامترات تصميمية لأنواع مختلفة من اللواقط الشمسية غير مركزة للإشعاع سائلة.
(Streicher 2007 with reference to Kleemann، Fisch، Ladener)

نوع اللاقط	المردود البصري	معامل الضياع الحراري $W/(m^2 K)$	مجال درجة الحرارة النموذجية °C	مساهمة الإنتاج المطلوبة	الإستعمال النموذجي
ماص مفرد (b)	0.92	12 17	0 30	صغير	للمسابح
لاقط مسطح (غطاء 1c)	0.80-0.85	5-7	20-80	متوسط	تسخين مياه
لاقط مسطح(غطاء2d)	0.65 0.70	4 6	20 80	متوسط	تسخين مياه
لاقط مسطح(غطاء 3e)	0.75 0.81	3 4	20 80	متوسط	تسخين مياه وتدفئة الفراغ
لاقط مسطح مفرغ	0.72 0.80	2.4 4.8	50 120	كبير	تسخين مياه وتدفئة وعمليات صناعية
لاقط انبوبي مفرغ	0.61 0.80	1.5 2.0	50 120	كبير جدا	تسخين مياه وتدفئة وعمليات صناعية
اللاقط الخازن	0.55	0.55	20 70	كبير جدا	تسخين مياه

b –ماص اسود غير التقاسي غير مغطى بغطاء شفاف

c – ماص اسود غير التقاسي مغطى بغطاء شفاف واحد

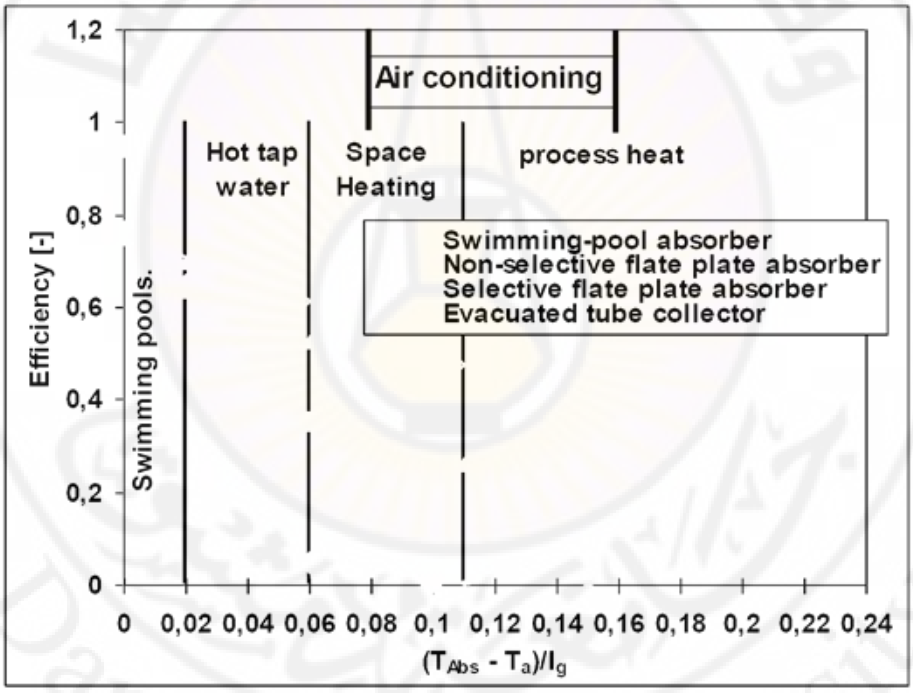
d– ماص اسود غير التقاسي مغطى بغطاء من ورق قصدير مزدوج

e– ماص التقاسي مغطى بغطاء شفاف واحد

هناك ميزة أخرى تظهر في الشكل (20.1.2). المحور x في هذه الحالة هو البارامتر $(T_{abs}-T_a)/I_G$،

حيث I_G هو الإشعاع الشمسي الكلي ويقدر بـ [W/m²]. هنا تتجه المنحنيات لمختلف مستويات الأشعة للأسفل من أجل مجمع شمسي واحد . بهذه المنحنيات يمكن حساب درجة الحرارة العظمى للمجمعT_{abs} في حالة الركود (حيث لايطلب تسخين ولا يوجد جريان). مثلاً درجة حرارة المجمع المسطح عند إشعاع يساوي [1000 $[W/m^2]$ ودرجة حرارة المحيط [°C]30 تكون مساوية:

$$T_{abs} = (0.14 * 1000) + 30 = 170 \ [°C]$$



الشكل (20.1.2) مميزات اللاقط الشمسي وحقول استعمال أنواع مختلفة من اللواقط الشمسية

-الإشعاع الشمسي الممتص:

الإشعاع الشمسي الممتص من قبل اللاقط الشمسي المسطح يحدد بالعلاقة (14.1.2):

$$S = \bar{H}_b \bar{R}_b (\overline{\tau\alpha})_b + \bar{H}_d (\overline{\tau\alpha})_d (\frac{1+\cos\beta}{2}) + \bar{H}\rho_g (\overline{\tau\alpha})_g (\frac{1-\cos\beta}{2}) \qquad (14.1.2)$$

حيث:

$(\overline{\tau\alpha})_b$ ، $(\overline{\tau\alpha})_d$ ، $(\overline{\tau\alpha})_g$ مركبة معامل النفوذية للغطاء مضروب بمعامل الامتصاص للسطح الماص وهي تابعة للشعاع الشمسي المباشر والشعاع المنتشر المنعكس من السماء ومن الأرض على التوالي.

وبذلك تكتب معادلة توازن الطاقة الأساسية للالقط بالعلاقة (15.1.2):

$$Q_{useful} = A_c[S - U_L(T_{abs} - T_a)] \qquad (15.1.2)$$

المشكلة في هذه المعادلة هي في حساب درجة حرارة السطح الماص الإسمية T_{abs} والتي تتبع إلى تصميم اللاقط الشمسي وإلى الإشعاع الشمسي الوارد وشروط السائل الناقل للحرارة الداخل إلى اللاقط.

يمكن كتابة العلاقة (15.1.2) بالشكل (16.1.2):

$$Q_{useful} = A_c[F_R(\tau\alpha)G_T - F_R U_L(T_i - T_a)] \qquad (16.1.2)$$

حيث:

F_R : معامل إزالة الحرارة من اللاقط.

$F_R(\tau\alpha)$ و $F_R U_L$ بارامتران يصفان عمل اللاقط :

$F_R(\tau\alpha)$ يعبر عن كمية الطاقة الممتصة من قبل اللاقط ،

$F_R U_L$ يعبر عن كمية الطاقة الضائعة من اللاقط .

هناك عامل ثالث يصف تأثير زاوية ورود الإشعاع الشمسي وهو معدل زاوية الورود(**Incident Angle Modifier**) وتدعى **IAM** إنّها تصف تبعيّة الانتقال عبر زجاج المجمع

عند زوايا ورود متغيرة مع المردود المحقّق بالإشعاع المباشر الوارد عند هذه الزاوية بالمقارنة مع الإشعاع الوارد العمودي.

وهو تابع لزاوية ورود الشعاع الشمسي المباشر (θ_b). تكون IAM=1 من أجل الإشعاع العمودي على سطح المجمع (incident angle=0°) . اعتماد ($\tau\alpha$) على زاوية ورود الإشعاع الشمسي على اللاقط يختلف من لاقط إلى آخر وطرق الاختبار القياسية تتضمن تخميناً تجريبياً لهذا التأثير. لوحظ أن اختبار اللاقط يتطلب يوماً صحواً وهذا يعني أن القيمة التجريبية لـ ($\tau\alpha$) ستكون جرهرياً مثل $(\tau\alpha)_b$، لذلك تكتب IAM كتابع للنسبة $K_{\tau\alpha}=(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$. في تقرير اختبار المجمع، تعطى عادة IAM عند زاوية ورود 50° لأن الطاقة المفيدة تمتص عند زوايا ورود أقل من60°. **IAM** يتمثل في المصطلح (b_o) ويسمى معامل **IAM**، يبين الشكل (21.1.2) **IAM** كتابع لـ θ و $\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right)$.

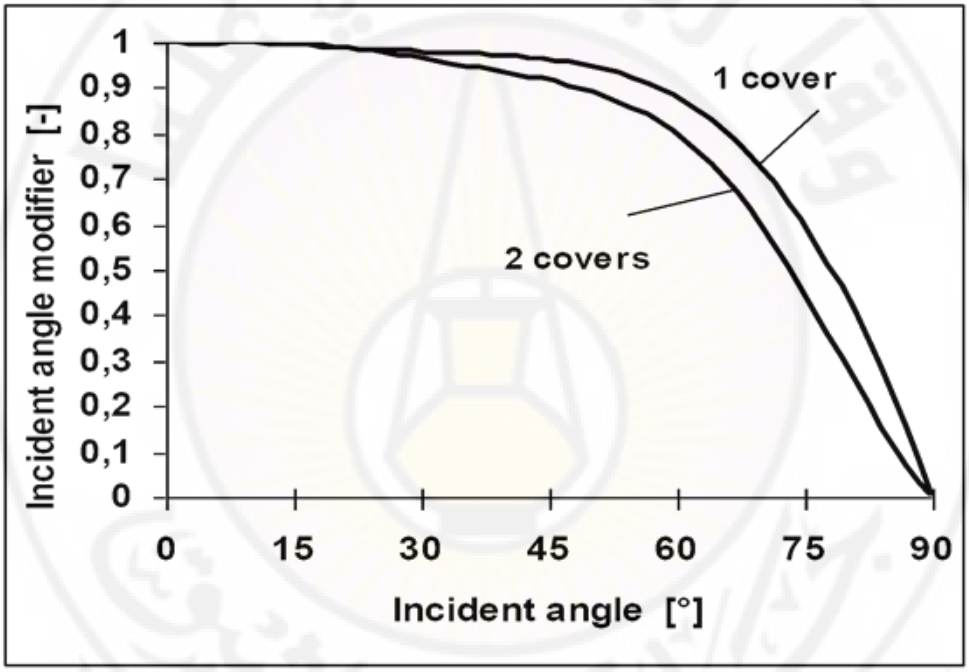
الشكل (21.1.2) معدل زاوية الورود IAM كتابع لـ زاوية الورود θ للاقط مسطح بغطاء زجاجي مفرد(a)، و للاقط مسطح بغطاء زجاجي مزدوج (b) ، للاقط بغطاء زجاجي واحد في حالة α=0.9

يفرض التقريب البسيط لـ Souka and Safwat (Duffie & Beckman 1991) تكتب IAM بالمعادلة (17.1.2)، هذه القيمة كافية لتحديد (bo) معامل IAM ومنحني ال (IAM).

$$IAM\ (\theta) = 1 + b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \qquad (17.1.2)$$

على أية حال توجد تقريبات مختلفة لأجل منحني IAM، والمعادلة (17.1.2) صالحة فقط من أجل المجمعات المسطحة. للمجمعات الأنبوبية المفرغة خاصّة وللمجمعات المركزة يوجد منحنيات IAM مختلفة من أجل زوايا ورود مختلفة.

من أجل غطائين زجاجيين ، تكون IAM طبعاً أصغر منها لغطاء واحد الشكل (22.1.2).



الشكل (22.1.2) معدل زاوية الورود للاقط شمسي مسطح بغطاء شفاف واحد وبغطائين(Streicher 2003)

لدينا الآن ثلاثة أنماط تحدد عمل اللاقط المسطح : $[b_o, \quad F_R U_L, \quad F_R \tau\alpha]$. وبذلك تكتب الطاقة المفيدة بالعلاقة (18.1.2) و (19.1.2):

$$Q_{useful} = A_c F_R [G_T K_{\tau\alpha} (\tau\alpha)_n - U_L (T_i - T_a)] \qquad (18.1.2)$$

$$Q_{useful} = A_c F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] \qquad (19.1.2)$$

تكتب علاقة المردود بالعلاقة (20.1.2):

$$\eta_i = \frac{Q_{useful}}{A_c G_T} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \qquad (20.1.2)$$

ومن العلاقة (5.1.2) يمكن كتابة المردود بالعلاقة (21.1.2):

$$\eta_i = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c G_T} \qquad (21.1.2)$$

2.2. الدارات الهيدروليكية للمجمع (Collector Hydraulics):

دارة المجمع في معظم الحالات هي عبارة عن مجمعات مفردة مربوطة مع بعضها البعض، حيث يمكن أن توصل هذه المجمعات إمّا على التسلسل أو على التَّفرع، حيث تستخدم الطريقتان في الربط .

1. الوصل على التسلسل:

تتناقص عادة كمية التدفق (تدفق منخفض)، ولذلك فإنّ درجة الحرارة في المجمع تزداد. هذه الميزة، أي ميزة الحصول على ماء حار بسرعة، تقابلها سيِّئة وهي الضياعات الحرارية من السطح الماص للوسط المحيط، والتي تكون بسبب فرق درجات الحرارة الكبير. يمكن التغلب على فقد الضغط الكبير من المجمعات الموصولة على التسلسل بواسطة فقد الضغط المنخفض في أنابيب التوصيل بسبب التدفق المنخفض الإجمالي .

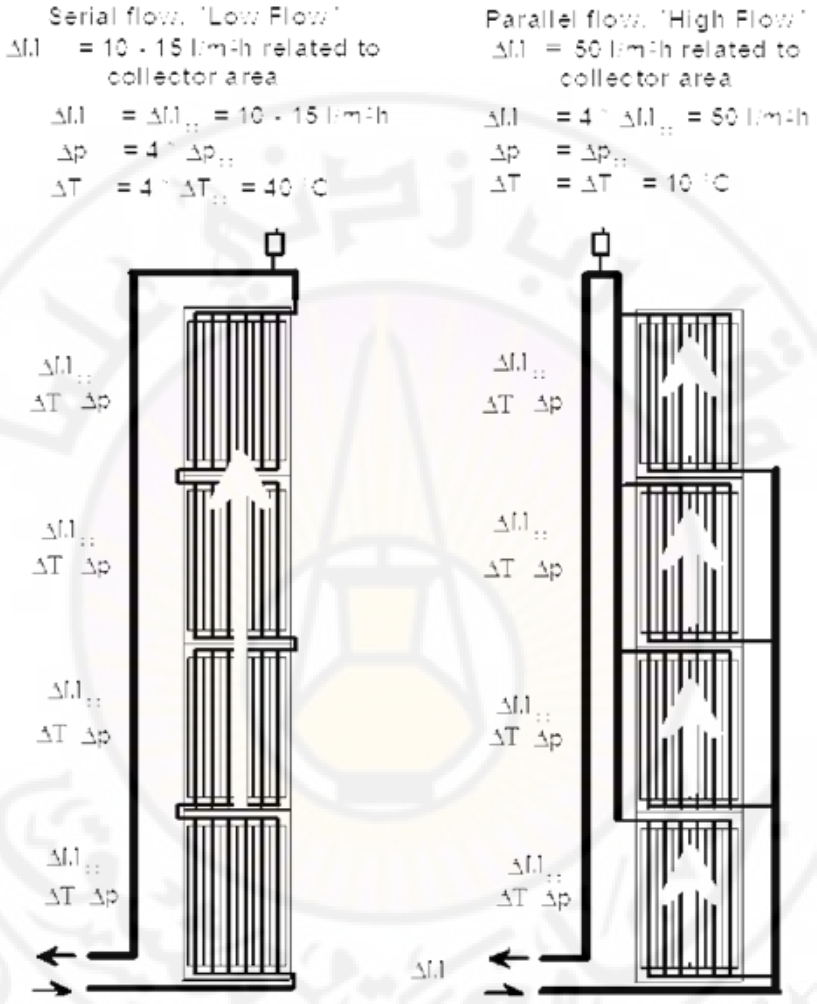
مردود المضخة ينقص بسبب التدفق المنخفض الكلي. عندما يكون الوصل على التسلسل يكون التدفق أكثر انتظاماً في مساحات المجمع. التصميم الهيدروليكي للمجمع يعدّل من أجل التدفق الإجمالي. إذا كانت التجهيزات ذات تدفق مرتفع ومساحة المجمعات أقل من [m^2]15

غالباً ما تربط مع مبادلات حرارية داخل الخزان ، بينما في أنظمة التدفق المنخفض نستعمل وحدات ترتيب الطبقات لكي نمنع اختلاط الماء الساخن من المجمع مع الماء البارد في داخل الخزان. يبين الشكل (1.2.2) الدارات الهيدروليكية في المجمع من أجل تدفق منخفض (اليسار) وتدفق مرتفع (اليمين).

2-الوصل على التفرُّع:

توصل المجمعات بأنابيب التوزيع (التغذية والتصريف). يجب أن تكون أنابيب التوزيع أكبر في القطر من أنابيب الماص لكي يتساوى توزيع السائل الناقل للحرارة إلى السطوح الماصة وللمحافظة على هبوط الضغط في وصلات الأنابيب وتقليل مصروف الكهرباء من أجل مضخة التدوير. وللسبب نفسه يكون التَّدفق نفسه في أنابيب المجمعات الموصولة على التفرُّع، مداخل ومخارج الأنابيب ستكون موصولة إلى نهايات متعاكسة.

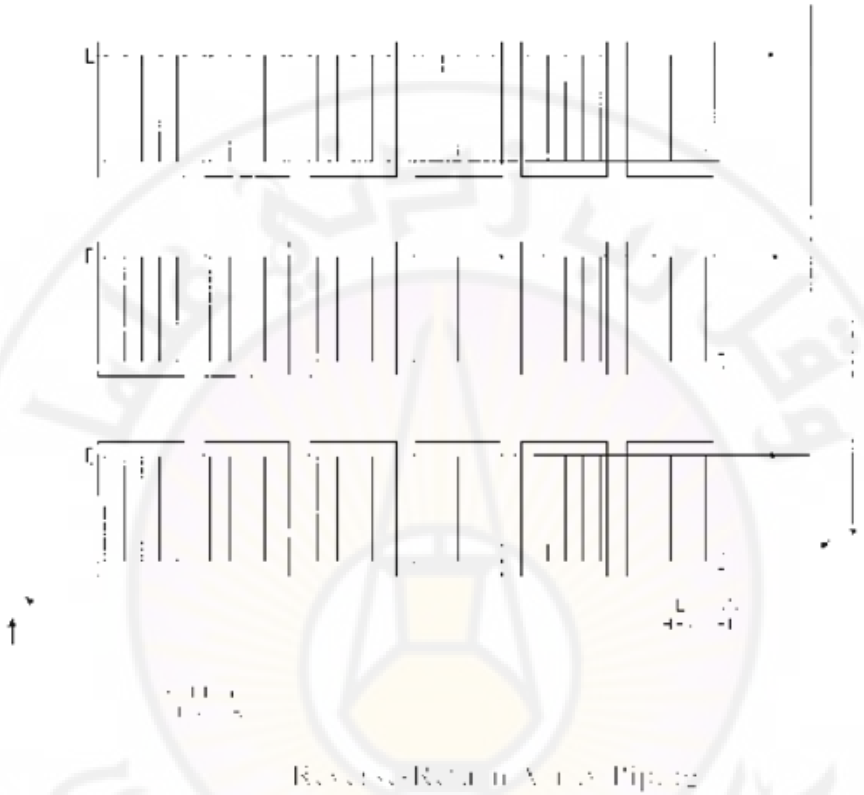
على أيَّة حال، مع ازدياد عدد المجمعات الموصولة على التَّفرع يزداد كلٌّ من التدفق وارتفاع الفرق في درجة حرارة المجمع ($T_{out} - T_{in}$)، لذلك فإنه من أجل المجمعات ذات الحقول الكبيرة الدّارات الموصولة على التَّفرع يتمُّ التَّحكم بها بواسطة صمّامات تحكم .



الشكل (1.2.2) الوصل الهيدروليكي لحقل اللواقط الشمسية: الوصل على التسلسل (اليسار) ، والوصل على التفرع (اليمين)

3-التوصيل المختلط بالخط الراجع المعكوس:

يبين الشكل (2.2.2) الوصل الهيدروليكي المختلط لحقل اللواقط الشمسية.



الشكل(2.2.2) الوصل الهيدروليكي المختلط لحقل اللواقط الشمسية

3.2. ناقل الحرارة (Heat carrier):

هناك بعض المتطلبات التي يجب أن تتوفر في ناقل الحرارة :

1 – سعة حرارية نوعية مرتفعة.

2 –لزوجة منخفضة.

3 – لا تجمد ولا غليان عند درجة حرارة العمل.

4 – من غير المفضل أن يسبب التآكل لقنوات النظام.

5 – غير قابل للاشتعال.

6 – غير سام وغير متحلّل حيوي.

الماء يلبي معظم هذه المواصفات بشكل جيد جداً. على كل حال، يمكن أن يسبب خطر التجمد مشاكل كثيرة عند درجة حرارة أقل من [°C] 0. يمكن أن يستعمل الماء من دون مواد إضافية في المناطق الدافئة من الأرض دون القلق من حدوث الصقيع .

في وسط وشمال أوروبا تستخدم خلائط أساسية من الماء وموانع التجمد. من الطبيعي أن يضاف أيضاً عامل مضاد للتآكل، حيث أن مزيج من الماء ومضاد التجمد هي أكثر تسبباً للتآكل من الماء النقي.

المواد المستخدمة الأكثر شيوعاً هي غليكول الإثيلين و غليكول البروبيلين. من أجل الأنظمة التي تؤمّن الماء الساخن المنزلي يستخدم عادة غليكول البروبيلين(من أجل الطعام). من سيئات المواد المضافة هي السعة الحرارية النوعية المنخفضة بالمقارنة مع الماء، اللّزوجة العالية، وانخفاض التوتر السطحي. كنتيجة لذلك يكون فقد الضغط أكبر وانتقال الحرارة أسوأ. علاوةً على ذلك، وبسبب انخفاض التوتر السطحي، يستطيع المزيج اختراق المسام التي لا يستطيع الماء النقي اختراقها. ولهذا فإنّ المكونات الرئيسية للدارة (المضخة، المقاطع العرضية للأنابيب، نواقل الحرارة) يجب تعديلها لتتلاءم مع مزيج مانع التجمد.

التحلّل الحراري لمانع التّجمد المضاف يمكن أن يؤدي الى تآكل شديد للمواد و/أو انسداد في الأنابيب. هذه مشكلة وخاصة في المجمعات ذات المساحات الكبيرة والكفاءة العالية التي يمكن أن تنتج كميات من الحرارة في الصيف أكبر، لذلك، يجب أن يتوقف الجريان في دارة المجمع لكي يمنع الماء في خزان الحرارة أو في نظام التسخين من الغليان. حقل المجمع عندئذ سيصل إلى حالة الركود وتصل درجة حرارته الأعظمية إلى [°C]200 (المجمعات المسطحة المغطاة) وحتى [°C]300(المجمعات الأنبوبية المفرغة). تحلل غليكول الايتلين وغليكول البروبلين يبدأ عادة تحت الدرجة [°C] 170، يبين الجدول (1.3.2) الخصائص الفيزيائية للهواء و الماء وللماء مضافاً إليه مضاد التجمد غليكول البروبلين.

حالياً، من الأملاح المباعة بشكل خاص من أجل الأنظمة الشمسية مزيج من الغليكول إثيلين والماء النقي لتستخدم كموائع ناقلة للحرارة بمقاومة حتى [°C] 290.

الجدول (1.3.2) الخصائص الفيزيائية لنواقل الحرارة في اللواقط الشمسية.

الخواص الفيزيائية عند الضغط 1bar	هواء	ماء	60% ماء و 40% غليكول البروبلين
السعة الحرارية النوعية [J/kgK] (50°C)	1020	4171	3810
الكثافة ρ [kg/m^3] (50°C)	1.1	988	1021
اللزوجة الديناميكيةη [10-6 Pa] (50°C)	19.3	547	1850
التوصيل الحراري λ [W/mK] (50°C)	0.028	0.64	0.421
درجة التجمد [°C]	-	0	-25.3
آمن للطعام	نعم	نعم	نعم
قابل للإشتعال	لا	لا	لا
قابل للتآكل	لا	لا(مع مضاد تآكل)	لا(مع مضاد تآكل)
الثمن	مجانا	رخيص	غالي قليلا

2. 4.دارة المجمع (Collector Loop):

2. 4 .1 الأنابيب (Pipes):

يتصل المجمع والخزان مع بعضهما البعض بواسطة الأنابيب. حجم النظام ونوعية مواد السطح الماص تحدّد المواد اللازمة لهذه الأنابيب. غالباً ماتستخدم أنابيب نحاسية قاسية أو ملساء أو أنابيب فولاذية غير قابلة للصدأ مضلّعة بالإضافة لذلك يستخدم الفولاذ وأنابيب البولي ايثيلين.
على كل حال، إذا كان السطح الماص مصنوعاً من الألمنيوم، فإنّ استعمال أنابيب النحاس غير ممكن خوفاً من خطر التآكل. على أية حال، إذا وجد المعدنان في دارة واحدة، فيجب استعمال العازل المغلفن.

أنظمة التسخين الشمسي /1/

أنظمة التسخين الشمسية تقدّم الماء المنزلي الساخن بتدفقات تتراوح بين [l/h] 50 – 30 لكل متر مربع من مساحة المجمع. تستخدم في السنوات الأخيرة أنظمة ذات تدفق [l/h]15 – 10 فتسمى عندها الأنظمة ذات التدفقات المنخفضة(low – flow). في هذه الأنظمة، جريان السائل خلال المجمع بأحد هذين النوعين من التدفق يمكن أن يرفع درجة حرارة السائل الناقل للحرارة إلى الحد المطلوب. **حسنات** أنظمة التدفق المنخفض هي فقد الضغط المنخفض داخل الأنابيب وإمكانية التزويد السريع بالماء الساخن. أما **سيئاتها** فهي الضياعات الحرارية المرتفعة في المجمع وبالتالي فإنّ حقل الطاقة النوعي الناتج منخفض. علاوةً على ذلك، تتطلب هذه الأنظمة مجمعات مربوطة على التسلسل لفترة طويلة لتجنب الجريانات المضطربة وبالتالي الحصول على انتقال حراري جيد في المجمع. التدفق المنخفض أفضل من التدفق العالي فقط في حال أمكن استخدامها في أنظمة تضمن وجود خزان(ترسب الطبقات) من الدرجة العالية أو استخدام مبادل حراري داخلي أو خارجي.

يحدد كلّ من المقطع العرضي ونظام التدفق الهيدروليكي هبوط الضغط اللازم للتغلب عليه وكتلة الماء الموجودة داخل الأنابيب. المقاطع العرضية الكبيرة للأنابيب تُنقص ضياع الضغط لكن عملية التحكم بها ستكون أصعب، كما أن الكتلة الحرارية (thermal mass) داخل الأنابيب تزداد بازدياد المقطع العرضي للأنابيب. علاوةً على ذلك، بازدياد مساحة الأنابيب تزداد نسبياً الضياعات الحرارية منها.

لكي ننقص الضياعات الحرارية، يجب أن تعزل أنابيب دارة المجمع. ولهذه الغاية نستعمل المواد التالية: الصوف الزجاجي، صفائح البوليريثان ورغوة المطاط . تزايد الآن استعمال أنابيب معزولة مضاعفة مصنوعة من أنابيب النحاس أو أنابيب ستيل مغلفنة على درجة عالية مع أقنية مدمجة فيها من أجل حساسات المجمع.

تحدث الضياعات الحرارية في الأنابيب في أنظمة التسخين الشمسي القياسية لتزويد الماء الساخن المنزلي على الرغم من العزل الحراري وتقدّر بحوالي 15% – 10 من الطاقة الناتجة في المجمع.

الجدول(1.4.2) يبين سماكة العازل التي تستخدم في الأنظمة القسرية.

الجدول (1.4.2) سماكة العازل لأنابيب دارة اللاقط الشمسي لأنظمة الدوران القسرية حسب (EN 12977-1: 2001)

معدل التدفق في دارة اللاقط الشمسي l/h	قطر الأنبوب الخارجي (mm)	سماكة الأنبوب (mm)	سماكة طبقة العازل (mm)
>90	10	1	20
90-140	12	1	20
140-235	15	1	20
235-405	18	1	20
405-565	22	1	20
565-880	28	1.5	30
880-1445	35	1.5	30
1445-1500	42	1.5	39
>1500	تناسب سرعة التدفق تقريبا 0.5m/s	1.5	مثل قطر الأنبوب الداخلي

2.4.2. المبادل الحراري (Heat exchangers):

يقوم المبادل الحراري بنقل الحرارة من وسيط لآخر بينما يكون الوسطان مفصولين فيزيائياً. تستعمل المبادلات الحرارية في حال كان الخزان يغذّى بشكل مباشر أو غير مباشر.

يعتمد الانتقال الحراري على :

1 – فرق درجات الحرارة بين الوسطين،

2 – مساحة سطح المبادل،

3 – السائل الناقل للحرارة وسرعة التدفق على جانبي المبادل الحراري (معامل انتقال الحرارة).

تستخدم المبادلات الحرارية الداخلية والخارجية في أنظمة التسخين الشمسية .

المبادلات الداخلية: توجد ميزة واحدة للمبادلات الحرارية الداخلية وهي أنها لا تحتاج إلى مكان كبير. والعيب الأساسي هو الناتج الحراري الضعيف نسبياً، يتطلب فرق درجات حرارة أكبر بينما يبقى الحجم محدوداً. المبادلات الحرارية الداخلية المستخدمة تكون ذات أنابيب مستقيمة أو أنابيب مضلعة. كما وتستخدم أحياناً خزّانات مضاعفة الغطاء كمبادلات حرارية.

المبادلات الخارجية: تصمّم المبادلات الحرارية الخارجية غالباً على أساس جريان عكسي (المبادلات الحرارية العكسية). التصاميم الشائعة لها هي أنبوب وصفيحة صلبة (للأنظمة الكبيرة)، أو مبادلات حرارية على شكل صفيحة متحدة المحور. من مزايا استعمال المبادلات الحرارية الخارجية هي التبادل الحراري الناتج المرتفع عند فرق درجات حرارة منخفض مضافاً إليه إمكانية تزويد أعلى الخزان بالماء الساخن. للسبب نفسه، يفضّل استخدامه من أجل مساحة المجمعات أكبر من $15-20m^2$. وبالنسبة لداخل خزان التّخزين، يمكن تحقيق درجات حرارة أفضل من الخزانات ذات المبادلات الداخلية. ومن سيئاته الضياعات الحرارية المرتفعة، الحاجة لفراغ أكبر والحاجة لمضخة إضافية للدارة الثانوية .

باستخدام معدّل الخشونة، سطح التبادل المضلّع حوالي [$0.4\ m^2$] للأنابيب المضلّعة، ويطلب حوالي[$0.2\ [m^2]$ من أنابيب التبادل المستقيمة لكل[$1\ [m^2]$ من مساحة المجمع في أنظمة الماء الساخن ذات المبادلات الحرارية الداخلية. من أجل انتقال حرارة أفضل، فإنّ سطح التبادل هذا يمكن إنقاصه حتى [$0.08[m^2] - 0.05$ من أجل المبادلات الحرارية الخارجية .

إذا أُعدّ النظام ليستعمل في مناطق ذات قساوة عالية للماء وعند درجة حرارة أعلى من]60 [$^{\circ}C$، فإنّ المبادلات الحرارية المصمّمة على هذا الأساس والتي تكون ملامسة لماء الشرب تعيق مروره أو يجب أن تستعمل وسائل للتنظيف .

عند وجود مبادل حراري بين دارة المجمع ونظام تزويد الماء الساخن فإنّ مردود المجمع يجب ألاّ ينقص بسبب زيادة درجة حرارة تشغيل المجمع أكثر من المعايير التالية :

- عندما يصل الربح الشمسي من المجمع الى أعلى قيمة محتملة، فإنّ انخفاض مردود المجمع من تأثير المبادل الحراري يجب ألاّ يتجاوز 10% (اطلاقاً).
- إذا استخدم أكثر من مبادل حراري واحد، فإنّ هذه القيمة يجب ألاّ تتجاوز مجموع الانخفاض من تأثير كلّ منهما.

إذا استعمل مبادل حراري واحد فقط بين دارة المجمع والخزان في نظام صغير حسب طلب الزبون، فإنّ معدّل الانتقال الحراري من المبادل الحراري لكل وحدة مساحة من المجمع يجب ألاّ تكون أقل من [$W/(K\ m^2_{collector})$]40.

3.4.2 المضخات (Pumps):

في أنظمة التسخين الشمسية ذات الدّارة القسرية، تصبح المضخة ضرورية لعمل دارة المجمع . يتراوح التدفق الحجمي لأنظمة التسخين الشمسية للماء المنزلي من(50 – 30 $l/(h\ m^2_{collelctor\ area})$ (تدفق عالي).

يتراوح التدفق الحجمي لأنظمة التدفق المنخفض بين ($l/(h\ m^2_{collelctor\ area})$ 15 –10)، يعتمد اختيار مضخات دارة المجمع على معدل التدفق الحجمي .

تحتاج أنظمة التدفق العالي دائماً إلى مضخات نابذية بسيطة، يتم التحكم بسرعتها يدوياً. لأنظمة التّدفق المنخفض أو أنظمة التّصريف الخلفي تستعمل مضخّات ذات أرياش أو مضخّات مسنّنة والتي تعطي مراديد جيدة عند ضغط مرتفع ومعدّل تدفق حجمي منخفض .

تعمل المضخات بواسطة الكهرباء وتتلقّى تغذيتها من الشبكة الكهربائية العامة . يمكن تغذية المضخّات بالكهرباء المولّدة من الخلايا الشمسية (الفوتوفولتيك). حيث أنّ المضخّة تحتاج كهرباء للإقلاع لن يتجاوز الحدود المعطاة في الجدول(2.4.2).

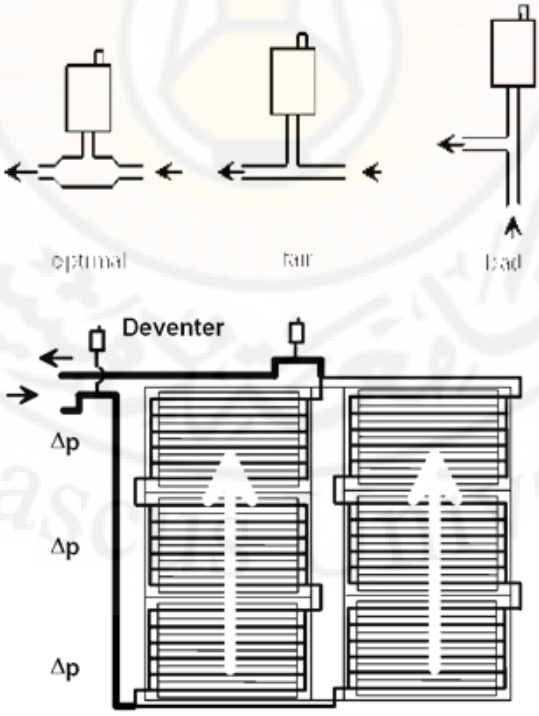
الجدول (2.4.2) الطاقة العظمى اللازمة للمضخات الشمسية (EN 12977-1:2001)

النظام	الطاقة الكهربائية للمضخة
أنظمة صغيرة	50W أو 2% من الطاقة الحرارية الأعلى والتي يمكن الحصول عليها من صفوف اللواقط الشمسية
أنظمة كبيرة	1% من الطاقة الحرارية الأعلى والتي يمكن الحصول عليها من صفوف اللواقط الشمسية

4.4.2. جهاز تفريغ الدارة من الهواء (Deventing device):

يوضع جهاز التنفيس في كل أعلى نقطة من النظام الهيدروليكي. يستخدم بشكل أساسي عند عملية التعبئة الأولى. عندما يضخ المائع الناقل للحرارة داخل أنابيب النظام فيخرج منه الهواء. يُجمَعُ الهواء في الأماكن الأعلى ويَجِبُ أنْ يُطلق هناك بأدوات التنفيس.

خلال الأيام الأولى من العمل تتبخّر غازات إضافية من السائل حيث تتناقص كمية الغازات المنحلة في السائل مع ازدياد درجة الحرارة. لذلك يعاد التنفيس بعد عدّة أيام من العملية الأولى. تنجح فقط عمليات التنفيس اليدوية في المنشآت الحرارية الشمسية. أمّا عمليات التنفيس الأتوماتيكية فتطلق أيضاً بخاراً من السائل الناقل للحرارة ذاته خلال ركود المجمع وهذا ضياع من المائع يجب تعويضه بعد كل ركود للمجمع. توضع أجهزة التنفيس في أماكن تكون فيها سرعة السائل الناقل للحرارة منخفضة لكي تسمح بفصل جيد للغاز عن السائل الشكل (1.4.2).



الشكل (1.4.2) التوضع الهيدروليكي لأجهزة التنفيس

5.4.2 أوعية التمدد (Expansion vessels):

في أنظمة التصريف الخلفية، من غير الضروري استخدام أوعية تمدد منفصلة. إذا كان عمل التّصريف الخلفي ميسّراً يكون مُصمّماً بشكل ملائم لينجز مهمته في الحجم و درجة الحرارة ومقاومة الضغط .

أوعية التّمدّد المفتوحة (Open expansion vessels):

كل نظام مفتوح يزوّد بخزّان تمدّد مفتوح ، يقدّر حجمه بحيث يستطيع تحقيق امتصاص جيد لكامل تمدد الوسيط الناقل للحرارة بين أدنى درجة حرارة وأعلى درجة حرارة. كل وعاء تمدّد سيكون على تلامس مع الهواء الجوي، الذي لا يستطيع الانفصال عنه.

أوعية التّمدّد المغلقة (Closed expansion vessels):

أبعاد جهاز التّمدّد للأنظمة الصغيرة: إذا حصل انقطاع في الطاقة التي تزوّد مضخة الدوران في دارة المجمع في اللحظة عندما يكون الإشعاع الشمسي أعظمياً (حالة ركود) فإنه يمكن استئناف العمل أتوماتيكياً بعد توفر الطاقة مجدداً فهذا يؤدي إلى تبخر الوسيط الناقل للحرارة تحت ظروف الركود وهذا السلوك يقتضي أبعاداً خاصّة لحجم جهاز التمدّد : بالإضافة إلى الأبعاد المعتاد أن تكون لأنظمة التدفئة المغلقة (تمدّد كل الوسيط الناقل للحرارة)، فإنّ جهاز التمدد في هذه الحالة يجب أن يكون قابلاً لتعويض السائل الناقل للحرارة في كل المجمعات بما فيه أنابيب التوصيل بين المجمعات مضافاً إليها 10%. من أجل الحالات الطارئة، عندما لايعمل النظام أوتوماتكياً بعد ظروف الركود، فإنه يمكن استعمال جهاز إنذار للتنبيه. بشكلٍ عام يجب أن تكون أجهزة التمدد متوضعة بطريقة بحيث لايصل السائل الحار إلى الغشاء**membrane** . لذلك من الأفضل أن تعلّق أجهزة التمدد بوضعية الوقوف (الشكل2.4.2 الأسفل).



الشكل (2.4.2) توضع أوعية التمدد

ملاحظة: عندما يأتي الماء الحار من الأسفل كما في الشكل(2.4.2) فإنه بالتثاقل يستطيع الوصول إلى الغشاء، أما في الحالة الثانية وهي الصحيحة فإن الماء القادم من الأعلى حتى لو كان حارا لايستطيع الوصول إلى الغشاء لأن الماء الحار بالتثاقل يبقى فوق الماء البارد الملاصق للغشاء.

الحجم المناسب لجهاز التمدد يحسب بالمعادلة (1.4.2):

$$V_{tot} = V_e + V_D + V_V \qquad (1.4.2)$$

حيث:

V_e: الحجم الناتج عن التّمدد الحراري للوسط الناقل للحرارة:

$$V_e = V_{plan} \times (\rho_{cold} - \rho_{warm}) / \rho_{warm} \qquad (2.4.2)$$

V_D: حجم ناقل الحرارة الذي يمكن أن يتبخر في حال التوقف الكلي (الركود):

$$V_D = V_{Coll} \times 1,1 \qquad (3.4.2)$$

V_V: الحجم الاحتياطي ليحفظ جهاز التمدد عند قيمة الضغط الأعلى اللازمة للعمل:

$$V_v = (0.01 \div 0.1) V_{plan} \qquad (4.4.2)$$

الجدول (3.4.2) خصائص الماء والماء المضاف إليه غليكول البروبلين المتصل بأبعاد وعاء التمدد

		ماء	40% غليكول البروبلين/60% ماء
درجة الحرارة(T_{warm}) عند الضغط 3 bar	[°C]	130	140
الكثافة عند [°C]12– 0 (T_{cold})	[kg/m³]	1000	1053 (عند 120 °C)
الكثافة عند (T_{warm})	[kg/m³]	935	966
معامل الكثافة $(\rho_{cold} - \rho_{warm}) / \rho_{warm}$	[kg/m³]	0.070	0.090

6.4.2. صمّامات الأمان (Safety valves) :

أي مقطع من صف المجمع يمكن أن يغلق بوضع صمّام أمان مناسب فيه من القياس المناسب. يقاوم صمام الأمان ظروف درجة الحرارة التي قد تتعرّض لها دارة المجمع، وخاصّة أعلى درجة حرارة يمكن أن تحدث. صمّام الأمان يجب أن يقاوم الوسيط الناقل للحرارة، حيث يصمم

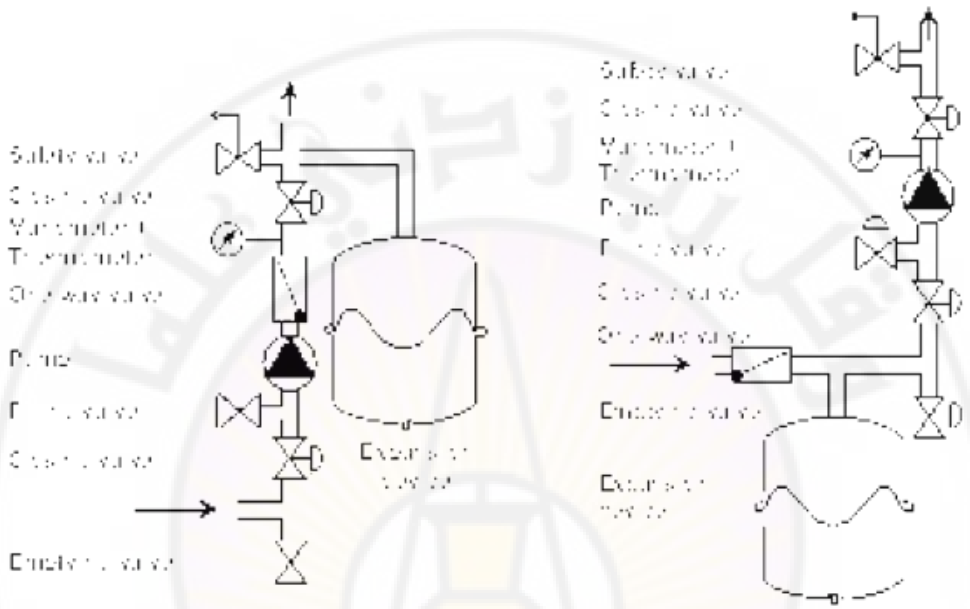
صمّام الأمان ليطلق التّدفق العالي من الماء الحار أو البخار الّذي يمكن أن يحدث. تحدّد أبعاد صمام الأمان بوسائل مناسبة.

خط الأمان The safety line لن يكون قابلاً للإغلاق. خط الأمان وخط التمدد يجب أن تكون أبعادهما بحيث: عند حدوث تدفق زائد من الماء الحار أو البخار، وعدم وجود مكان في دارة المجمع فإنّ الضغط يتجاوز الحد المسموح الأعظمي بسبب هبوط الضغط في هذه الخطوط، فهما يجب أن يسمحا بخروج هذا التّدفّق الزّائد من الماء السّاخن أو البخار دون أن يزيدا هبوط الضغط. مقاييس خط الأمان وخط التمدّد يجب أن يؤمّنا بوسائل مناسبة. يوصل الخطان إلى مكان لا توجد فيه أوساخ متراكمة أو قشور أو أجسام مشابهة يمكن تجنبها .

يجب الحفاظ على خطوط التّنفيس من التجمد أو تراكم الماء داخل هذه الأنابيب. يجب أن ترتّب فوّهات خطوط التّنفيس بطريقة بحيث أن أي خروج للبخار أو الوسيط الناقل للحرارة من صمّامات الأمان لايسبب إزعاجاً للمواطنين أو المواد أو البيئة المحيطة .

7.4.2.مجموعة المضخة (Pump Group):

توزّع الكثير من المصانع مجموعات مضخة كاملة كما هو مبين في الشكل(3.4.2). وهي تتضمن بالإضافة الى المضخة، وعاء تمدّد أيضاً وصمام عدم رجوع ومقياس ضغط وموازين حرارة وصمامات أمان وإغلاق وتفريغ وملء.



الشكل(3.4.2) عناصر مجموعة المضخة وتوضع هذه العناصر

بإمكان مجموعة المضخة القيام بالوظائف التالية:

- إمكانية تعبئة وتفريغ الدارة بمزيج الماء وغليكول البروبيلين .
- تفريغ المجمع من السائل من خلال صمام الأمان عند الضرورة .
- يضمن إمكانية التّمدّد الحجمي وتفريغ المجمع في حالة الركود من دون إطلاق السائل عن طريق وعاء التّمدّد. في المثال المبين على الجانب اليميني من الشكل (3.4.2) وعاء التّمدّد أيضاً يحمي المضخّة فعلياً من الضغط المنخفض على جانب المقطع الذي يمكن أن يسبب تكهف (تكون فقاقيع وانفجارها في السوائل)(**cavitations**) المضخّة وتخريبها عن طريق معادلة وتغيير الضغط على هذا الجانب.
- يحمي صمّام عدم الرجوع من دوران عكسي أثناء الليل غير مرغوب فيه بسبب تأثير قوة الدفع ويسمح بتفريغ سائل المجمع المتمدد بكلا الاتجاهين إلى وعاء التّمدّد في حالة الركود.

- يسمح بإمكانية تغيير المضخة من دون تفريغ دارة المجمع من السائل النّاقل للحرارة (يوضع صمامين على جانبي المضخة).
- لا يمكن فصل صمّام الأمان وخزّان التّمدّد عن دارة المجمع .

8.4.2 ركود المجمعات الشّمسيّة:

(Stagnation of solar collectors)

في معظم الأقطار داخل أوروبا، تحتاج دارة المجمع لأن تتحمل فترات الصقيع، والطريقة الأكثر شيوعاً هي استعمال مانع التّجمد ضمن خليط مؤلّف من غليكول البروبيلن والماء، والدّارات الأكثر شيوعاً تتعرض لفترات ركود عندما تتوقف مضخّة المجمع عن العمل والسبب في ذلك أنّ الخزّان يكون قد شحن بشكل تام. وهذا يحدث في الأنظمة المركبة أكثر ممّا يحدث في أنظمة تسخين الماء المنزلي بالطّاقة الشّمسيّة فقط. في حالة الركود يبقى الضغط في دارة المجمع تحت القيمة 3 bar في العديد من الأنظمة. يتبخّر الوسيط النّاقل للحرارة ويتحرّك باتجاه خزّان التّمدّد. ولركود المجمعات أسباب عديدة منها:

1. الحرارة المطلوبة من الدارة تمّ تأمينها بشكل كاف.
2. انقطاع التيار الكهربائي .
3. دارات بعض المجمعات أنابيبها مربوطة على التّفرع لا تعمل بسبب الهواء العائق.

درجات حرارة ركود المجمعات تتوقّف على نوعيّة المجمع ومبينة في الجدول (4.4.2) الذي يبين أيضاً ضغط البخار المشبع لكل من الماء ولخليط الماء مع مانع التجمد.

الجدول (4.4.2) درجات حرارة الركود لأنواع مختلفة من اللواقط الشمسية.

	درجة حرارة الركود	ضغط البخار المشبع	
		ماء	ماء–غليكول البروبلين (30%–70%)
	[°C]	[bar]	[bar]

لاقط للمسابح (بدون غطاء)	90	0.7	0.6
ماص غير انتقائي بغطاء زجاجي واحد	120-150	2.0-4.8	1.7-4.2
ماص انتقائي بغطاء زجاجي واحد	160-200	6.2-15.6	5.4-14.1
لاقط انبوب حراري مفرغ	90	0.7	0.6
انبوب مفرغ ولاقط مسطح مفرغ	250 300	40 86	25<

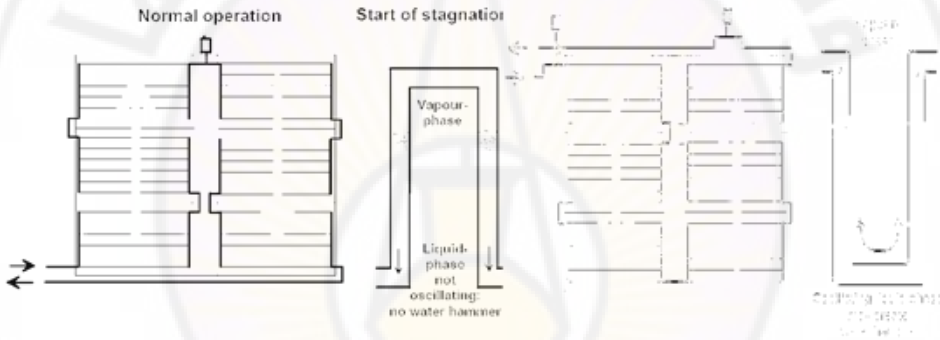
يمكن تقسيم فترة ركود المجمع الى عدّة مراحل:

1. تسخين سائل المجمع الى درجة حرارة الغليان.
2. تبخّر سائل المجمع.
3. تحميص البخار في المجمع.
4. تكثيف البخار في الأنابيب بعد أن يكون المجمع في حالة التوازن الحراري.
5. إعادة تكثيف السائل في المجمع عندما يتناقص الإشعاع الشمسي وعندما تنخفض درجة حرارة السائل في المجمع تحت نقطة غليان السائل أيضاً.

توجد عدة طرق لتجنب المشاكل التي يمكن أن تحصل في حالة توقف المجمع بشكل تام. إذا تجاوزت درجة الحرارة المخزّنة القيمة العظمى، يمكن أن تتوقف مضخة الدوران في الدارة بشكل كامل لتجنب تزويد الخزان بطاقة إضافية. في تلك الحالة يصل المجمع إلى درجة حرارة التوقف. يتبخر السائل في المجمع وهذا يسبب زيادة في الحجم خلال عملية التبخر. في الحالة الأمثل يخرج السائل الكلي الموجود داخل المجمع خارج السطح الماص ويحتجز عن طريق وعاء التمدد المصمّم لهذه الغاية.

في الحالة الأسوأ، يتبخر السائل الكلي الموجود في المجمع ويتكاثف مجدداً داخل النظام الشكل(4.4.2). هذا يحصل عادة في المبادل الحراري للخزان. في تلك الحالة يكون خزان التمدد قادراً على امتصاص حجم أنابيب التوصيل. يجب أن تعمل مضخة الدوران فقط بعد التوقف الكلي للمجمع إذا كانت درجة حرارة المجمع تحت [°C] 100. هذا يؤكد أن المجمع خال من البخار الذي يمكن أن يسبب طرق الماء عندما يبدأ ضخه في الأنابيب الباردة. يمكن أن تستخدم استراتيجيات كثيرة لمنع فرط التسخين في الخزان. الشكل (4.4.2) يظهر مخططي الدارة الهيدروليكي المحتملين. في المخطط اليساري (حالة1) زيادة ضغط البخار تجبر السائل على الخروج من المجمع وكذلك عندما يتزايد الضغط يدفع السائل للأسفل بالتساوي بين الجهتين.لا

يحصل بخار في الأنابيب الموصولة حيث ينتقل السائل فقط ضمنها خلال عملية إفراغ المجمع. في المخطط اليميني (حالة2)، إذا تساوى الضغط على الطرفين يتبخر كامل السائل في الشكل U بسبب بقائه في المجمع . يُدفع البخار داخل الأنابيب ويتكاثف في المبادل الحراري الى حوض الحرارة. تحصل درجات حرارة عالية في دارة المجمع كلها. بالإضافة لذلك، يوجد تحليل متزايد لغليكول البروبيلن ومانع التآكل بسبب درجات الحرارة المرتفعة في المجمع. لذلك تفضّل (الحالة 1) في اعداد المجمع.



الشكل(4.4.2) مخطط تدفق اللاقط الهيدروليكي الذي يضغط البخار خارج اللاقط أثناء التبخير(الحالة 1 على اليسار والحالة 2 على اليمين)

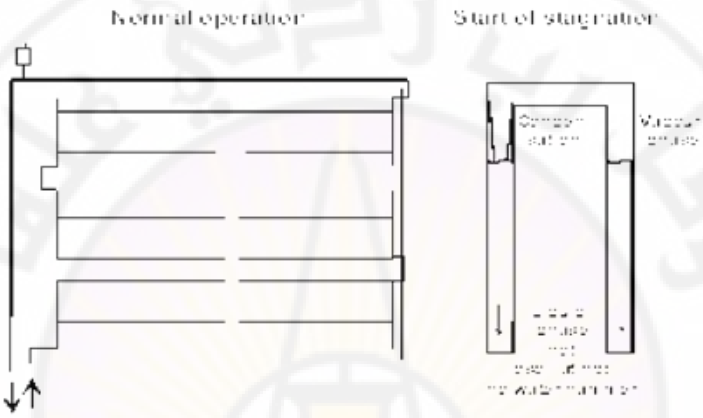
بقية أجزاء الدارة الهيدروليكية من دارة المجمع يجب أن تسمح للسائل بالخروج من جانبي المجمع إلى خزّان التّمدد كما هو مبين في الشكل(5.4.2).

إذا كان السائل متجمداً في المجمع أو يوجد ما يعيق جريانه، فإنّ كمية البخار المنتجة تكون أكثر ويمكن أن يحدث طرق الماء **water hammers** (على جوانب الأنبوب الذي يحتويه بفعل الجيوب الهوائية).

بالإضافة الى المعالجة الصحيحة لركود المجمع، يمكن أن يخفّض زمن الركود مع غليان السائل باحدى الطرق التالية:

- إضافة مبدّد حراري(حوض السباحة)
- استخدام التصميم فقط من أجل الصيف(وحدات صغيرة، فترات العطلة) .

- التبريد خلال الليل(حسب الطقس لليوم التالي).
- أنظمة التصريف الخلفي.



الشكل(5.4.2) مخطط تدفق اللاقط الهيدروليكي لحقول لاقط يتميز بخاصية الركود الجيدة

يمكن حساب درجة حرارة الركود من العلاقة التالية:

$$\overline{T}_s = \overline{T}_a + \frac{G_s}{G_m}(\overline{T}_{abs} - \overline{T}_{air}) \qquad (5.4.2)$$

حيث:

$\overline{T}_s$ [°C]: درجة حرارة الركود،

$\overline{T}_a$ [°C]: درجة حرارة الوسط المحيط ،

G_s [W/m²] : شدة الإشعاع الشمسي الاستقرائية ،

G_m [W/m²]: شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع،

$\overline{T}_{abs}$ [°C]: درجة حرارة الماص،

$\overline{T}_{air}$ [°C]: درجة حرارة الهواء المحيط .

وكمثال تمّ حساب درجة الركود عند (G_s=1000 (W/m²) ، $\overline{T}_a$ = 30[°C] ومن الجدول التالي، أخذت البيانات التالية:

الإشعاع الشمسي $G_m[W/m^2]$	درجة حرارة الوسط المحيط $\overline{T}_a[°C]$	درجة حرارة الماص $\overline{T}_{abs}[°C]$
1008	13.1	182.8
994	13.5	181.7
967	13.8	179.2
948	13.8	174.7
988	12.4	183.3

فكانت نتيجة الحساب أنّ درجة الركود: $\overline{T}_s$ =200.3[°C]

5.2. نظام التحكم (Control Systems):

تستخدم أنظمة التحكم لتنظيم دوران مضخة المجمع في حالة الدارة القسرية. وفي الوقت نفسه يضمن نظام التحكم تحقيق درجات الحرارة المطلوبة في الخزّان ويعمل التسخين الإضافي عندما يكون الإشعاع منخفضاً.

إنّ عدد ونوع أدوات التحكم والحسّاسات كبيرة جداً ويتوقف على عمل النظام. أنظمة الدوران الطبيعية عادة لا تحتاج إلى أي أدوات تنظيم فعالة. في أنظمة الدوران القسري، دارة المجمع تكون عموماً مُسيطراً عليها فعلياً بجهاز تحكم لمختلف درجات الحرارة. توضع عادة حسّاسات درجة الحرارة على المجمع أو داخله وعلى الخزان أو داخله. تقيس درجات الحرارة وتحولها إلى إشارات كهربائية. تقاس درجة الحرارة في الخزان في مستوى خروج ناقل الحرارة من دارة المجمع إلى الخزان في حالة المبادلات الحرارية الداخلية. أما إذا استخدمت المبادلات الحرارية الخارجية فإن درجة الحرارة تقاس إلى حد ما في موضع أعلى من مخرج الخزان إلى المبادل الحراري. ضمن المجمع، يجب أن تؤخذ القياسات عند النقطة الأسخن قريباً من مخرج الخزّان. تقارن كلتا الإشارتين المقيستين في جهاز التحكم. إذا كانت درجة حرارة المجمع أعلى من درجة حرارة الخزّان فإن مضخة دارة المجمع تعمل.

إذا كان فرق درجات الحرارة تحت القيمة المعيّرة على الجهاز فإن مضخة دارة المجمع تتوقف. لأنظمة الماء الحار المنزلية الحرارية الشمسية العامّة فإن فرق درجات الحرارة المعيّرة على جهاز التحكم لكي يعمل تكون بين (5÷7k). ويتوقف عندما تكون القيمة عادة حوالي (3k). حالياً أدخل مفهوم التّحكم الاستراتيجي الذي يستعمل ارتفاع الضغط في دارة المجمع عند زيادة التسخين في المجمع، عند ارتفاع معين للضغط فانّ مضخة دارة المجمع تعمل. يستخدم حساسان لدرجات الحرارة الأول في الجانب البارد والثاني في الجانب الساخن من دارة المجمع لإطفاء المضخة ثانية. مثل هذه الأنظمة يمكن أن تصنّع مسبقاً.

يجب تأمين عملية التحكم بدرجة حرارة الخزان ودارة المجمع للتحكم بمضخة الدوران لدارة المجمع في أنظمة الدوران القسرية. من المفروض ألاّ تتجاوز درجة حرارة الخزان القيمة العظمى المحددة. في الخزانات القياسية لأنظمة تزويد الماء الساخن المنزلي بالطاقة الشمسية، تحدث رواسب كلسية (جزيئات صغيرة) عند ارتفاع درجة الحرارة فوق [°C]60 في حالة الماء القاسي، وهذه الجزيئات تزداد بسرعة إذا ارتفعت درجة الحرارة الى[°C]70 أو أكثر. يجب تجنب أو الحد من تبخر السائل الناقل للحرارة في دارة المجمع.

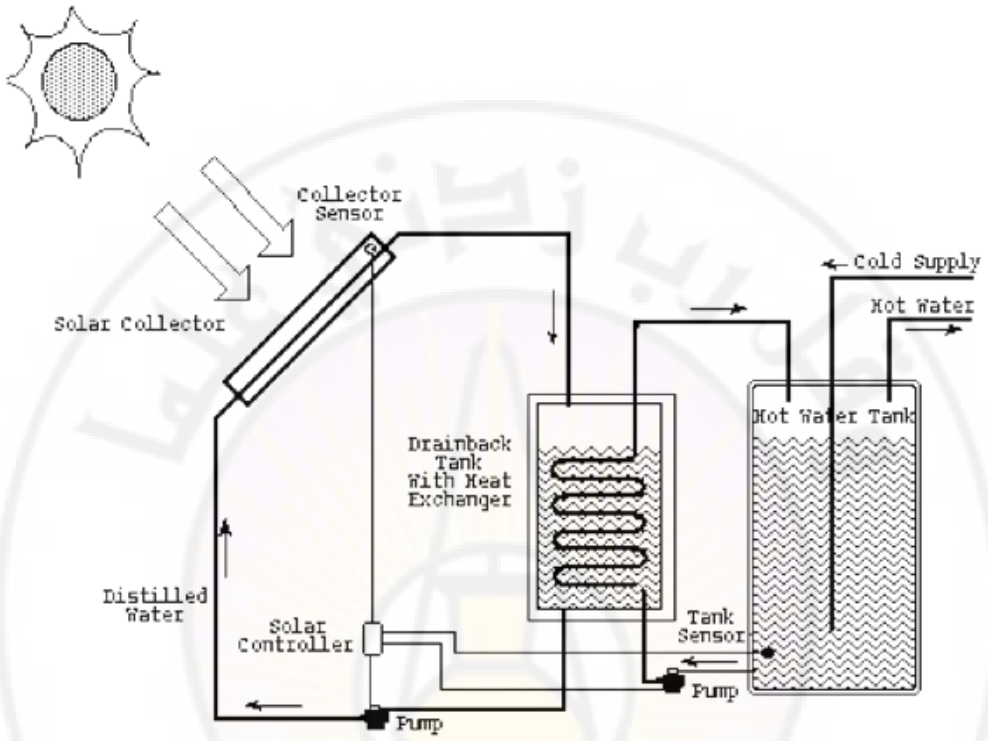
1.5.2 نظام التصريف الخلفي(The Drain-Back system):

يحلّ نظام التّصريف الخلفي من المجمع مشكلة التوقف التام لاحتواء الدارة من المجمع الى الخزّان على حجم غازي (نتروجين أو هواء) إمّا في الخزان نفسه أو في خزّان مدمج وسيط. عند توقف المجمع بشكل تام، يتحرك الحجم الغازي إلى المجمع ويملأ سائل المجمع الفراغ المملوء بالحجم الغازي سابقاً في الخزّان. هذه العملية لا تحتاج إلى طاقة إضافية. بل تحتاج إلى قابلية من المجمع لإفراغ نفسه. الغاز في المجمع يستطيع أن يسخّن نفسه إلى درجة حرارة التوقف التام الآن دون أن يتبخر السائل الناقل للحرارة. عندما يتحرّك ثانيةً، تضغط مضخة التوزيع الحجم الغازي من المجمع إلى الخزان المقصود ثانيةً. وهكذا تحتاج المضخة أن يكون عندها قيم ضغط أكبر من مضخات التوزيع العادية. إذا صمّم الحجم الغازي بطريقة ما بحيث تكون كل مكونات النظام المعرّضة لدرجة حرارة الوسط المحيط مملوءة بالغاز عند التوقف التام، فإنّ دارة المجمع تعمل بدون إضافة مانع تجمد .

يبين الشكل (1.5.2) العديد من الدارات التي تعمل بنظام التصريف الخلفي.



الشكل (1.5.2) مفاهيم عديدة لأنظمة التصريف الخلفي. وعاء التصريف الخلفي أعلى الخزان مع شحن مباشر للخزان (A+D)، في اسفل الخزان مع مبادل حراري داخلي (B)، وفي غلاف الخزان (C).



نظام تسخين مياه مع التصريف الخلفي

المزايا الرئيسية لنظام التصريف الخلفي:

- عدم تسخين زائد لسائل المجمع .
- وعاء تمدد يكون مدمجاً .
- يمكن الاستغناء عن مانع التجمد (إذا كان التفريغ سريعاً كفاية) .

السيئة الرئيسية هي تأمين ميل كاف لأنابيب المجمع في كل الأماكن لضمان التصريف الصحيح والسريع، ويبين الشكل (2.5.2) أمثلة عن توصيل الأنابيب يبين التوصيل الصواب والخطأ في دارات اللواقط بنظام التصريف الخلفي وضرورة ميل الأنابيب الواصلة بين اللاقط وخزان التصريف الخلفي كي يضمن تفريغ اللاقط من الوسيط الناقل للحرارة عند توقف المضخة عن العمل.

الشكل (2.5.2) أمثلة عن توصيل الأنابيب يبين التوصيل الصواب والخطأ في دارات اللواقط بنظام التصريف الخلفي

2.5.2 التبريد ليلاً (Night cooling):

بتدوير مضخة الدوران خلال الليل، يمكن استخدام دارة المجمع أيضاً لتبريد الخزان. بما أن الضياعات الحرارية من دارة المجمع هي أعلى بكثير من الخزان، تنخفض درجة حرارة الخزّان الى حد أخفض من الدرجة المقرّرة خلال الليل. درجة الحرارة هذه ستكون عند المستوى الذي يمنع المجمع من رفع درجة حرارة الخزان فوق الدرجة المحددة العظمى إذا كان اليوم التالي دافئاً ومشمساً. سيئات هذا النوع من التبريد أنه يعتمد على استعمال الطاقة الإضافية. بالإضافة لذلك، فإن كمية التبريد اللازمة في الخزان خلال الليل تعتمد على معلومات الطقس لليوم التالي.

3.5.2. إزالة الحرارة (Heat sink) :

النظام يمكن أن يكون له نظام خاص لإزالة الحرارة مندمج معه والذي يعمل بإشارة من جهاز التحكم حسب الطلب (مثلاً. برك السباحة ، مبادل حراري على السقف، مرجل إضافي)، لكن المشكلة هي الحاجة لاستخدام طاقة إضافية ثانية .

2. 6. التخزين الحراري (Heat storage):

يعطي هذا المقطع خلاصة موجزة حول طرق التخزين الحراري المختلفة. يقسم التخزين الحراري وفق المعيار التالي :

-**تخزين ذاتي التغذية** Passive storage في الجدار، أرض، سقوف غرف البناء. في هذه الحالة لايمكن التحكم بالتغذية والتفريغ ويمكن أن تتم التغذية إذا كانت الفروقات الحرارية في الغرفة كبيرة كفاية أو أنّ الإشعاع الشمسي المباشر كاف.

-**التخزين الفعّال** Active storage في الكتل الحرارية في البناء مثال: نظام التدفئة الأرضية. في هذه الحالة يمكن التحكم بالتغذية ولكن التفريغ ليس كذلك.

-**أجهزة تخزين الحرارة** Active storage devices تكون عادة تجهيزات خزان ماء أو فرش حصوية pebble beds. هذه الأنظمة يمكن التحكم بها (تغذية وتفريغاً).

الخزانات الحرارية هي جزء من أغلب التجهيزات الحرارية الشمسية. السبب هو عدم وجود ارتباط عام بين الشعاع الشمسي والحاجة للحرارة .

الخزان الحراري يقوم بتخزين الحرارة المولّدة في المجمع بالإشعاع الشمسي ويخزّنها إلى حين الطلب. لهذا الهدف، يتألف الخزان الحراري من وسط تراكم حراري وغطاء صلب مع مادة عازلة مضافاً إليه مدخل الحرارة ومخرج أجهزة .

الاستطاعة الحرارية هي عنصر هام من أجل وسط التراكم الحراري. وهو مقدار الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة المادة النوعية 1k. الاستطاعات الحرارية النوعية (ترتبط بالكتلة والحجم)، مضافاً إليها كثافة مختلف وسائط التراكم الحراري (تظهر في الجدول 1.6.2).

المادة التي ستستخدم كوسط ادّخار حرارة تقرّر بمعايير تقنية كبيرة ويجب أن تتوافق مع مواد أخرى (مثلاً خطر التآكل) وأن تكون صديقة للبيئة.

تستخدم عدة أنواع من تصاميم الخزّان الحراري. تختلف هذه التصاميم تبعاً لنوع المراكم الحراري (كيميائي، حراري) وحالة المادة المستخدمة كمراكم. يمكن التّمييز بين خزّانات تخزين سائلة (خزّانات مياه ساخنة) والتخزين الصلب وخزانات الحرارة الكامنة.

الجدول (1.6.2) السعة الحرارية لكل كتلة وكل حجم لمواد مختلفة

المادة	السعة الحرارية		الكثافة
	kJ/kg.K	kJ/m³.K	kWh/m³.K	kg/m³
الماء	4.18	4175	1.16	998
حصى، رمل	0.71	1278 1420	0.36 0.39	1800 2000
غرانيت	0.75	2063	0.57	2750
آجر	0.84	1176-1596	0.33-0.44	1400-1900
حديد	0.47	3655	1.02	7860
زيت	1.6-1.8	1360-1620	0.38-0.15	850-900
حصى ماء	1.32	2895	0.80	2200

37% من الحجم ماء

1.6.2 مدة التخزين :

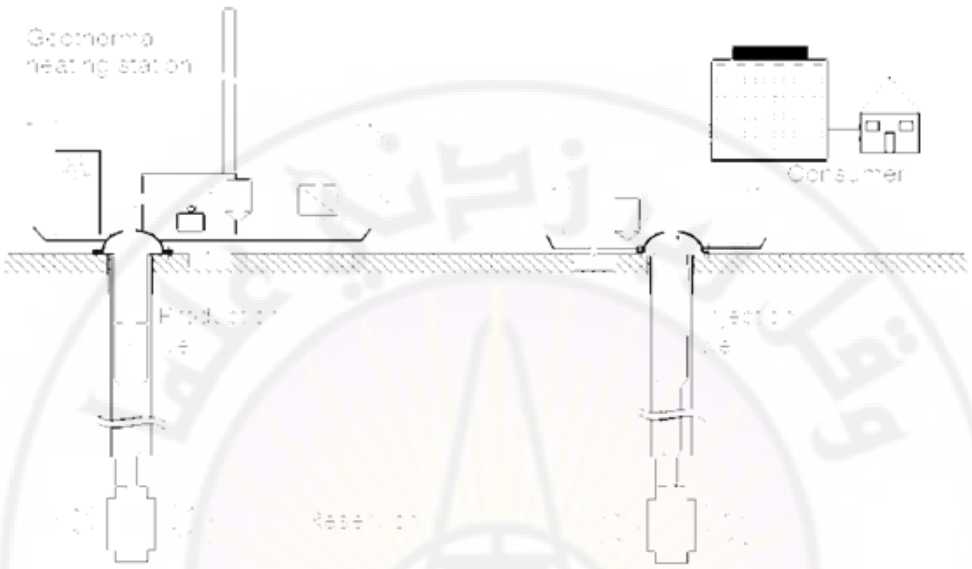
التّخزين الحراري يمكن أن يكون قصير الأمد، أو يومياً أو فصلياً. تخزّن الخزانات الحرارية قصيرة الأمد الحرارة فقط لعدد من الساعات. أحد الأمثلة النموذجية هو خزّان الماء في المجمعات الخازنة (**storage collectors**) والذي يدمج مع المجمع. بينما تخزن الخزانات الحرارية اليومية الحرارة من يوم إلى عدة أيام. هذه هي الحالة التقليدية من تجهيزات تسخين الماء المنزلي بالطاقة الشمسية والأنظمة المركبة (من أجل الماء الساخن المنزلي والتدفئة) بوفر شمسي يصل إلى حد أعلى من 60% .

تُستخدم الخزانات الحرارية الفصلية بشكلٍ رئيسيٍّ إذا كان المطلوب من تجهيزات التسخين الشمسية أن تغطي كامل حمل التدفئة في هذه الحالة يطلب حجوم تخزين كبيرة. ويمكن استخدام خزانات الماء، و **aquifers** (طبقات صخرية مائية) وخزانات شاقولية أرضية.

– تبنى الخزانات المائية فوق الأرض أو تحتها من الفولاذ المعزول حرارياً أو من الإسمنت أو حجرة كبيرة تحت الأرض (كهوف) صخرية.

-**التخزين الحراري في طبقات صخرية مائية(aquifers)** (أي: منفذة للماء، تشكيلة حصوية منفصلة) وتتم عن طريق تدفق الماء الحار وإزالة الماء البارد من خلال تنسيق معين للآبار. تزال الحرارة المخزّنة بطريقة أخرى تماماً. يبين الشكل (1.6.2) التجهيزات الشمسية لتأمين المياه الساخنة في مدينة روستوك بألمانيا باستخدام خزان تخزين فصلي (aquifers). عمق الخزان بحوالي $15-30\ m^2$ تحت سطح الأرض والمسافة الفاصلة بين البئر البارد والبئر الحار حوالي 55m. أثناء فترة الشحن تُنتج مياه جوفية من البئر الباردة وتسخن عن طريق مبادل حراري وتحقن ثانية في البئر الساخن. في عملية التفريغ يتم العكس حيث تُنتج مياه ساخنة من البئر الساخن وتبرد بالمبادل الحراري أو بمضخة حرارية وتحقن ثانية في البئر الباردة. يبين الشكل (2.6.2) مثالاً آخر لتأمين المياه الساخنة باستخدام خزان تخزين فصلي (aquifers) باستخدام تقنية الآبار ومحطة جيوثيرمال.

الشكل (1.6.2) التجهيزات الشمسية لتأمين المياه الساخنة في مدينة روستوك بألمانيا باستخدام خزان تخزين فصلي (aquifers).



الشكل (2.6.2) التجهيزات الشمسية لتأمين المياه الساخنة في مدينة روستوك بألمانيا باستخدام خزان تخزين فصلي (aquifers).

-تكون خزانات الماء المفروشة بالحصى محكمة الإغلاق حيث تملأ بالحصى والماء. تكون هذه الخزانات مكتفية ذاتياً وتكلفة إنتاجها رخيصة. سعتها الحرارية أقل من السعة الحرارية لخزانات الماء. على أية حال يمكن تحقيق الطبقات الحرارية نفسها كما في الخزانات المائية. تضاف الحرارة أو تفرّغ من الطبقات المختلفة من الخزان عن طريق المبادلات الحرارية .

- **تستخدم خزانات المسبار probe storages** التراب أو الصخور كوسيط التخزين . حيث تقوم المسبارات بالحفر بشكل عمودي داخل الأرض. الحرارة الناتجة بالطاقة الشمسية تضاف أو تستخلص من خلال أنابيب مناسبة تستخدم كمبادلات حرارية تحت سطح الأرض. أما وسيط التخزين فهو بشكل رئيسي الصخور، الطين أو الصلصال. يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أنّ الخزان لايمكن أن يوضع في منطقة فيها مجرى مياه جوفية لأنه يمتص الحرارة.

2.6.2.الخزانات الصلبة والخزانات الحرارية الذاتيّة:

(Solid stores and passive heat stores)

تستخدم خزانات المادة الصلبة بشكلٍ أساسيّ في أنظمة فيها مجمعات هوائية وفي أكثر الأحيان تدمج مباشرة مع البناء. يُملأ عادةً الخزّان بالحصى أو بأحجار أخرى أو بأجزاء كثيفة الكتلة من البناء (على سبيل المثال: جدران- أرضيات- سقوف). لإعطاء بعض الأمثلة، يتمّ هذا في الطابق السفلي أو الأرضي أو خزان شاقولي مدمج في جدار البناء.

يدخل الهواء الساخن المجمع من الأعلى؛ حيث يعطي حرارته للصخور قبل مغادرته الخزان الحراري من الأسفل مرّة ثانية. الحرارة المحرّرة تقوم بالدوران بطريق آخر.إذا كانت أجزاء البناء مستخدمة بشكلٍ مباشرٍ كخزّان، تدعى هذه الخزانات Hypocausts (فراغ تسخين تحت غرفة). ينتقل الهواء الساخن عبر الأقنية إلى المكونات الفردية ويسخّنها. هذه المكونات تطلق الحرارة ثانية بتأخّر زمني وغزارة أقل للبناء. يمكن أن تغذّى هذه الخزانات بطريقة نظامية فقط، لكن التفريغ لا يكون كذلك.

بما أن الاستطاعة الحرارية للصخور هي أقل من استطاعة السوائل، وبالتالي تتطلب حجوماً أو فروقاً حرارية أكبر 3-2 مرات لنفس الاستطاعة التخزينية. بالإضافة إلى ذلك، دخول وخروج الحرارة عند فروق حرارية صغيرة يتطلب مساحات انتقال حرارة كبيرة لتتوزّع بالتساوي ضمن الخزّان. من مساوئ هذه الخزانات الحاجة إلى مكان أكبر وهذه يقابلها صفة جيدة وهي سهولة الإنتاج.

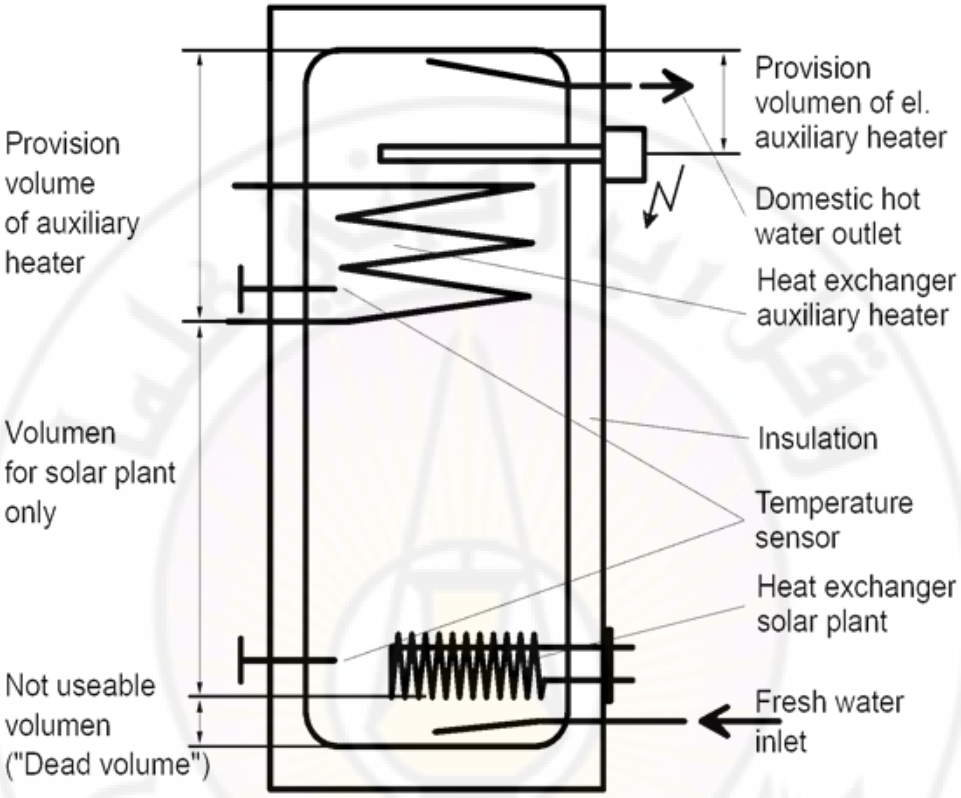
3.6.2. تخزين الماء الساخن (Hot water stores):

التخزين السائل هو شكل للتخزين مستخدم في معظم الحالات. أبسط حالة هي حالة مسبح مفتوح متعدّد المهام. في أغلب الحالات، يستعمل بشكل منفصل، خزانات ذات ضغط حر أو خزانات معرضة للضغط. مثل هذه الخزانات يمكن تغذيتها بشكل مباشر أو غير مباشر. تستخدم أنظمة التدوير القسرية بشكل أساسي في وسط وشمال أوربا حيث يعمل الخزان الحراري تحت الضغط مع سائل ناقل للحرارة من أجل دارة المجمع مضافاً إليها مدخل الماء البارد ومخرج الماء الساخن. للخزّان الحراري غالباً مبادل حراري ثانٍ أو مسخّن كهربائي مغموس من أجل التسخين

الإضافي للخزان. الخزان عادةً يكون مقسّماً إلى مناطق. تغذى الحرارة في تجهيزات النظام الشمسي عند النقطة الأخفض والأبرد لكي يكون قابلاً لجعل المجمع يصل إلى أعلى كفاءة ممكنة. إنّ قسم التسخين المساعد يكون في النهاية العليا من الخزان. يُحدَّدُ حجمه من الكفاءة والحد الأدنى المطلوب من وقت تشغيل السخان المساعد كما في الشكل(3.6.2).

لصناعة الخزّان يُستخدم فولاذ مدهون أو فولاذ مع طلاء مقاوم لدرجة الحرارة حوالي 120 [°C] كمادة لتخزين طويل الأمد ومقاوم للتآكل. في بعض الحالات الفردية يمكن أن تستخدم مادة صناعية فيبركلاس مقاومة لدرجة الحرارة. يجب أن يكون الخزّان معزولاً من الخارج بالصوف المعدني، الرغوة الناعمة (foam) ومواد صناعية خاصة. الحواف والوصلات يجب أن تكون معزولة خصوصاً ضد الضياعات الحرارية. إذا صممت تجهيزات تسخين الماء المنزلي بالطاقة الشمسية بشكل مناسب، فإنّ متوسط الضياع السنوي من الجسور الحرارية المتبقية تكون بين 10- 15% من الحرارة المحررة من المجمع للخزان الحراري.

يوضع المبادل الحراري الداخلي في دارة اللاقط في أسفل الخزان لأنّ الماء البارد هو الأثقل ويوجد في الأسفل بينما الماء الساخن هو الأخف ويكون في الأعلى من الخزان. توزّع (بروفيل) درجة الحرارة داخل الخزان الحراري يكون أيضاً سبباً لوضع مدخل الماء البارد في الأسفل ومخرجها من أعلى الخزان في حالة التغذية المباشرة والتفريغ. المبادل الحراري للتسخين الإضافي يكون في أعلى جزء من الخزان. وهكذا فإنّ القسم الأخفض من الخزان يمكن أن يعمل بالنظام الشمسي كلياً.



الشكل (3.6.2) تقسيم المناطق في خزان تخزين المياه للتجهيزات الشمسية (Streicher 2003)

يوجد نوع واحد من خزانات الحرارة مختلف عن الآخرين هو خزان الثيرموسيفون. بالمقارنة مع خزانات الحرارة التقليدية فإنّ مبادل الحرارة السفلي يوضع شاقولياً في أنبوب صاعد مفتوح من الأسفل. وهكذا خلال عمل النظام الشمسي، يستطيع الماء التدفق مخترقاً المبادل الحراري والماء الساخن يتدفق للأعلى. الأنبوب الصاعد له فتحات مصممة خصيصاً على طول الطريق. اعتماداً على مستوى درجة الحرارة، فإن الماء الساخن يُطلق عبر هذه الفتحات إلى الخزان، إذا ارتفعت درجة حرارة هذا الماء أكثر فإنّ العملية السابقة لم تعد ممكنة بسبب درجة الحرارة الأعلى في الطبقة العلوية من الخزان. بوحدة التطبق هذه فإنّ الماء المسخّن يطلق دائماً للخزّان في الأعلى عندما

تكون درجات حرارة الماء المسخّن والخزّان متساوية. هذه العملية تعتمد على كفاءة المجمع وهذا يعتمد على الإشعاع الشمسي الوارد. هذا الأنبوب الصاعد يسمى وحدة الشحن الطبقي.

من أجل مساحة مجمعات أكبر، لابد من وضع مبادل حراري خارجي بينما لم يعد ممكناً لنقل الحرارة فقدان درجة الحرارة الدنيا المطلوبة باستخدام مبادل حراري داخلي. هذا يَتطلّبُ مضخّةً إضافيةً بين المبادل الحراري والخزان. يغذّى الخزّان إمّا بالماء المسخن عن طريق المجمعات على ارتفاع واحد ثابت أو ارتفاعين ثابتين أو باستخدام وحدة الشحن الطبقي.

معايير وحدود ضياع الحرارة (Norms and heat loss limits):

خزانات الماء الصالح للشرب يمكن أن نجدها في Pr EN12897:1997، يجب أن تختبر خزانات الأنظمة الصغيرة كما وصفت في ENV 12977-3. معدل الضياع الحراري الاحتياطي $(UA)_{s,a,ab}$ لخزّانات الأنظمة الصغيرة يجب ألاّ تزيد عن القيمة المعطاة بالمعادلة (1.6.2) (الكود السويسري والإيطالي لخزانات الماء الحار):

$$(UA)_{s,a,ab} = 0,16\sqrt{V_s} \qquad [W/°K] \qquad (1.6.2)$$

حيث:

V_s هي الحجم الاسمي للخزّان باللتر.

4.6.2 خزانات الماء الساخن للتجهيزات الشمسية :

المتطلبات العامة لخزانات الماء الساخن هي:

1-المجمع يجب أن يعمل عند أقل درجة حرارة مفيدة ممكنة (موقع دخول الأنبوب القادم من المجمع بالنسبة للخزان أخفض مايمكن)،

2-يجب ألاّ يختلط المدخل الحار مع سائل الخزّان الحار / البارد(ضياعات الطاقة exergy losses)

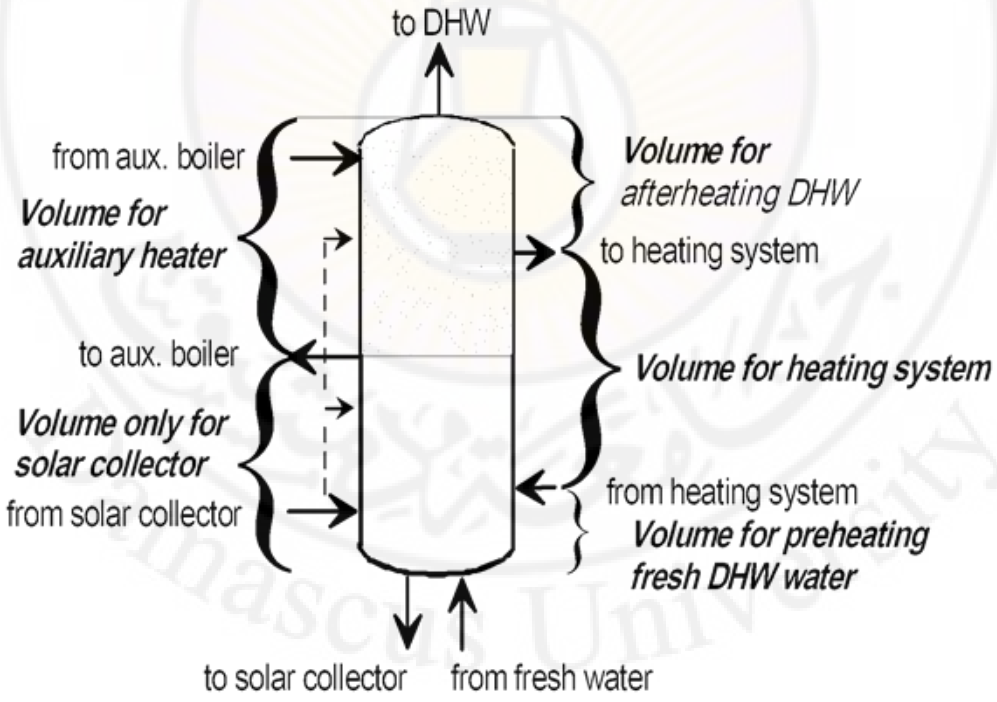
3-يوضع السخّان الإضافي في أعلى الخزان ولكن حجمه لا يكون كبيراً جداً. حجم السخان يجب أن يؤمن حاجة المستخدم، ولكن في الوقت نفسه يبقى صغيراً لكي يكون الضياع الحراري للوسط المحيط قليلاً،

4- تركب حساسات الحرارة عند مدخل ومخرج الخزان وعلى ارتفاع المبادل الحراري،
5-أنبوب الدخول للخزان وأنبوب الخروج منه يجب أن يتوضعا على الارتفاع الصحيح مع استعمال العازل المناسب للخزّان بدون حدوث جسور حرارية.

1.4.6.2 خزانات أجهزة الدوران القسرية

مناطق الخزان Zoning of stores:

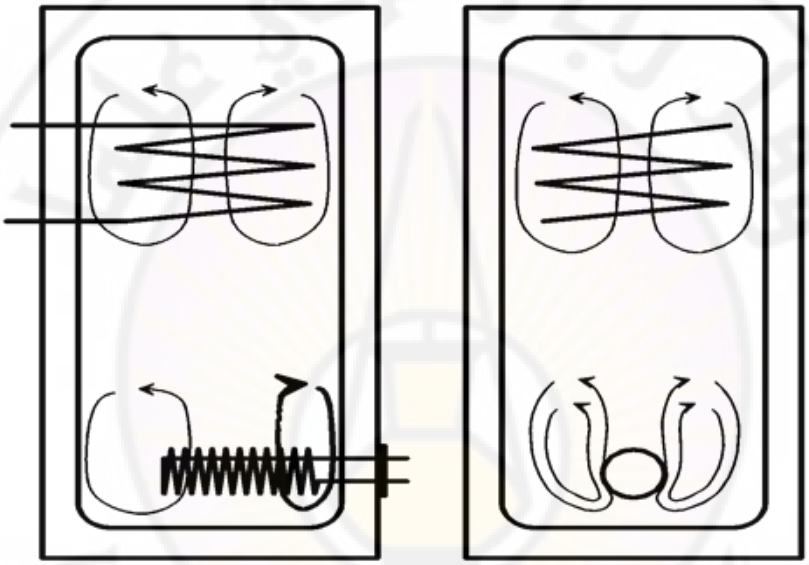
يظهر الشكل(4.6.2) مبدأ عمل خزان الماء بمدخلين للطاقة (الشمس والطاقة الإضافية) مع استعمال الماء كوسيط تخزين.



الشكل (4.6.2) مناطق خزان تخزين المياه الحارة للنظام المركب(Streicher & Bales 2005)

5.6.2 المبادلات الحرارية في الخزانات المائية :

للمبادلات الحرارية تصميمات متنوعة. الشكل (5.6.2) يظهر تصميمين أساسيين للمبادلات الحرارية الداخلية.



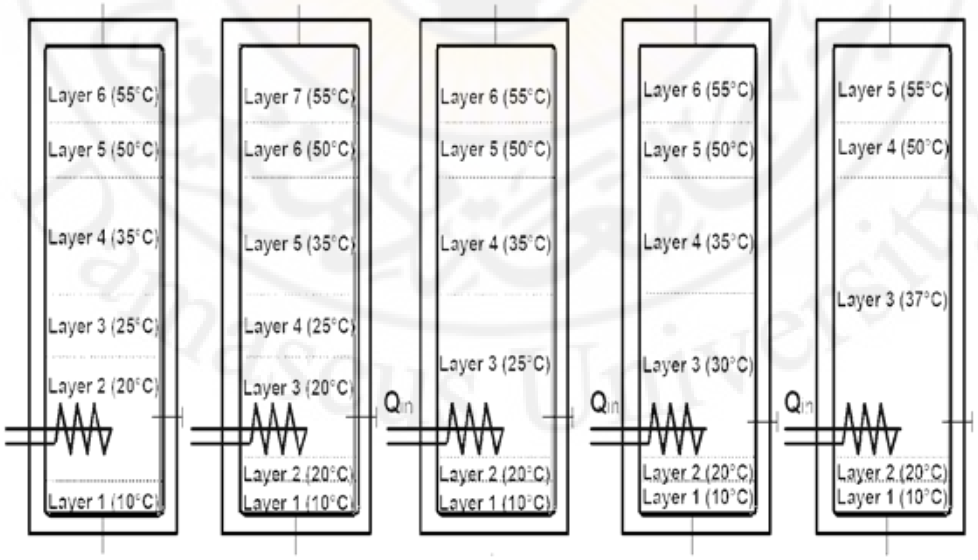
الشكل(5.6.2) نوعان مختلفان من المبادلات الحرارية الداخلية مع دوران حملي طبيعي داخلي مناسب في زمن الشحن(Streicher 2003)

يمكن وضع المبادل الحراري السفلي وإزالته من خلال إنشاءات الحافة. ويكون عادة مبادلاً حرارياً مزعنفا. الشحن الطبقي لا يمكن في هذا النوع. النوع الآخر من المبادلات يكون أنبوباً مصقولاً والذي يمكن أن يوضع على مدى ارتفاع معين بحيث يسمح بتطبق طفيف(مثل المبادل الحراري الأعلى). مساوئ هذا النوع هو أنه يجب أن يركب في المصنع ولايمكن استبداله. يمكن استخدام المبادل الحراري الأعلى للتفريغ.

أثناء الشحن والتفريغ هناك انتقال حرارة طبيعي بالحمل(محدود) حول المبادلات الحرارية والذي يؤثر في التطبق في الخزان إلى حدٍّ كبير.

يظهر الشكل (6.6.2) مخططاً ماقد يحصل ضمن الخزّان عندما يشحن بمبادل حراري داخلي ووصلات مباشرة. يبدأ الماء المسخن بالمبادل الحراري الداخلي بالارتفاع ويختلط بالماء المحيط. بهذه الطريقة تنقل الحرارة إلى حجم كبير من الماء والتي تسخن ببطء. النتيجة النهائية عادةً هي منطقة ذات درجة حرارة منتظمة فوق المبادل الحراري. تمتد هذه المنطقة بقدر ما إلى منطقة أخرى بدرجة حرارة أعلى. عندما تتحقق درجة الحرارة لهذه المنطقة الأعلى، فإنّ كلا المنطقتين ستسخنان بانتظام عند درجة الحرارة نفسها. الخزان تحت المبادل الحراري لا يتأثر. توضع حساسات درجة الحرارة للمبادل الحراري الداخلي في منطقة المبادل الحراري. لا يقاس ازدياد درجة الحرارة خلال الشحن تحت المبادل الحراري وفوقه لأنه سوف يعطي إشارة لمصدر الحرارة للبدء بشحن متأخر جداً.

يوجد انحدار صغير في درجة حرارة الخزّان عند ارتفاع المبادل الحراري نفسه. العنصر الكهربائي (السخان المساعد) في الخزان يعمل بشكل مشابه، لكن بسبب الحرارة المرتفعة نسبياً ومنطقة التبادل الحراري صغيرة، فإنّ الماء الساخن لايختلط بالكامل بالماء المخزن المحيط مما يؤدي إلى انحدار صغير في درجة الحرارة فوق السخان.

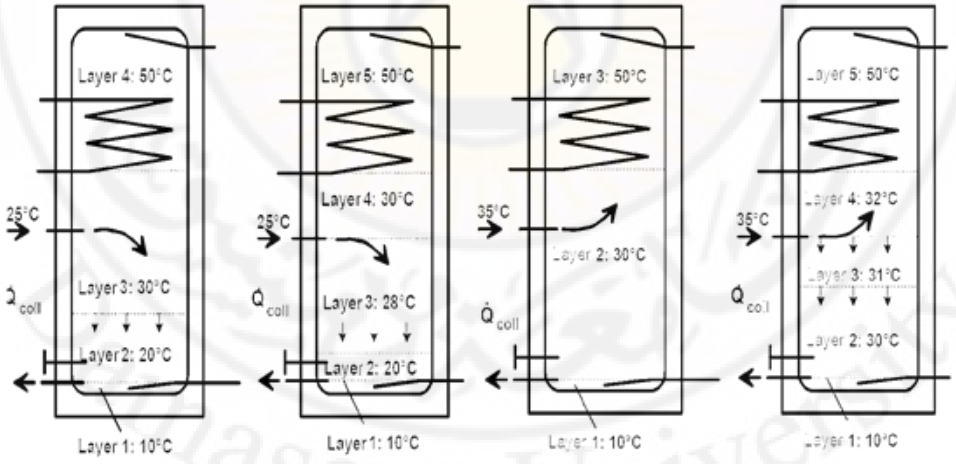


الشكل(6.6.2) الشحن باستخدام المبادل الحراري الداخلي(Streicher 2003)

6.6.2. مدخل ومخرج خزّانات الماء:

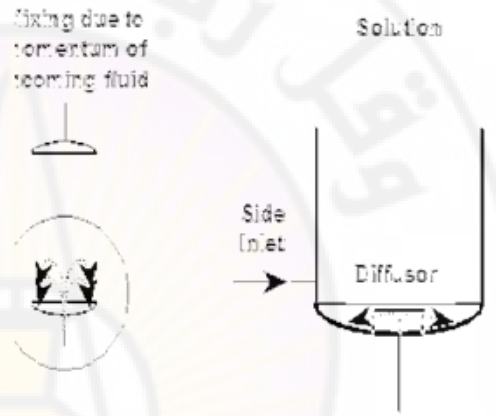
يحصل بعض المزج عند الوصل المباشر عند مدخل الخزّان. تعتمد درجة المزج على سرعة الدخول والفرق بين درجة حرارة الماء الداخل وبين الماء الموجود في الخزان عند المدخل. المنطقة فوق المدخل لن تتأثر بالماء القادم إذا كان الأخير أبرد (شكل 7.6.2 أيسر). يضغط الماء المخزن تحت المدخل ويخرج من خلال المخرج. على كل حال، إذا كان الماء القادم أسخن من السائل الموجود في المنطقة العليا، عندئذ سوف تنتقل هذه الحرارة إلى تلك المنطقة، مسببة هناك مزجاً كما يحصل تحت المدخل (شكل7.6.2 أيمن). بهذا يتأثر حجم كبير ودرجة الحرارة تحت المدخل ستكون بشكل ملحوظ أقل من تلك التي تدخل الخزان. تتغير درجة حرارة الماء الداخل من كلّ من دارة المجمع ودارة التدفئة مع الزمن، وستوجد أوقات يكون فيها الماء القادم أسخن من الماء عند مدخل الخزان وفي أوقات أخرى سيكون أبرد.

يميل الشحن بالوصلات المباشرة إلى تحسين التطبق مع زيادة حجم المنطقة خلال الشحن. بالعكس، الشحن عن طريق مبادل حراري داخلي يميل إلى تخريب التطبق. وبسبب وجود العديد من المصادر الحرارية في خزان النظام المركب بالإضافة إلى الكثير من المصارف لذلك يكون التدفق والتطبق معقدين.



الشكل (7.6.2) الشحن باستخدام الوصلات المباشرة أي من مبادل حراري (على اليسار : درجة الحرارة الداخلة أقل من المخزنة، على اليمين درجة الحرارة الداخلة أعلى من المخزنة). المنطقة أعلى الخزان بتوصيلات مباشرة ستتأثر إذا كانت درجة الحرارة الداخلة أعلى من درجة الحرارة أعلى الخزان(Streicher 2003)

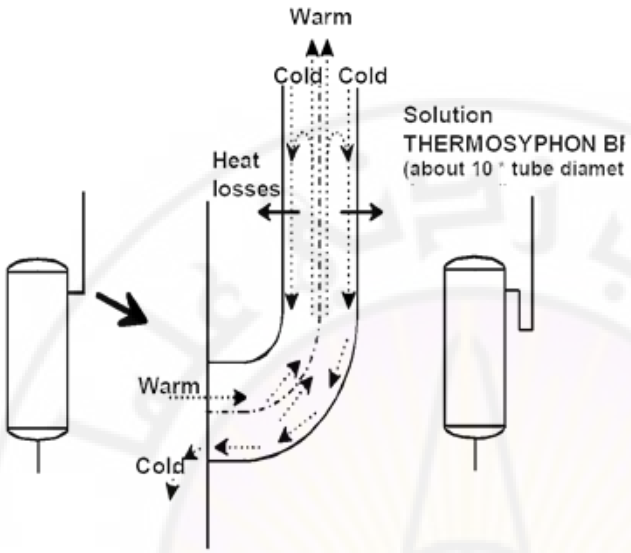
يوجد قانونان عامان **لتجنب المزج وزيادة الضياعات الحرارية** بأنابيب التوصيل إلى الخزان تظهر في الشكل (8.6.2) والشكل (9.6.2):



الشكل (8.6.2) مدخل التدفق هندسياً لتجنب المزج وتوصيل الأنابيب على جانب الخزان. منظر تخطيطي (في الأسفل، Streicher 2003) و بالنمذجة (في الأعلى، Jivan Shaw 2004)

-أنابيب دخول التدفق الشاقولية إلى الخزان يجب أن تجهز بصفيحة تعمل كناشر أفقي. ماعدا ذلك كمية السائل القادم يحطم الطبقات المتشكلة على ارتفاع معين من الخزان. في الجانب اليميني من الشكل (8.6.2)، يظهر مدخل الأنبوب بوجود أو عدم وجود صفيحة.

-الأنابيب الأفقية والأنابيب الشاقولية في أعلى الخزان يجب أن تجهز بكسر ثيرموسيفون (**thermosyphon break**) لكي يمنع الحمل الحراري الطبيعي داخل الأنبوب كما يبدو في الشكل(9.6.2). مثل هذا الحمل الطبيعي يسخّن الأنابيب بدون تدفق حجمي ولذلك تكون النتائج مزيداً من الضياعات الحرارية غير المرغوبة.

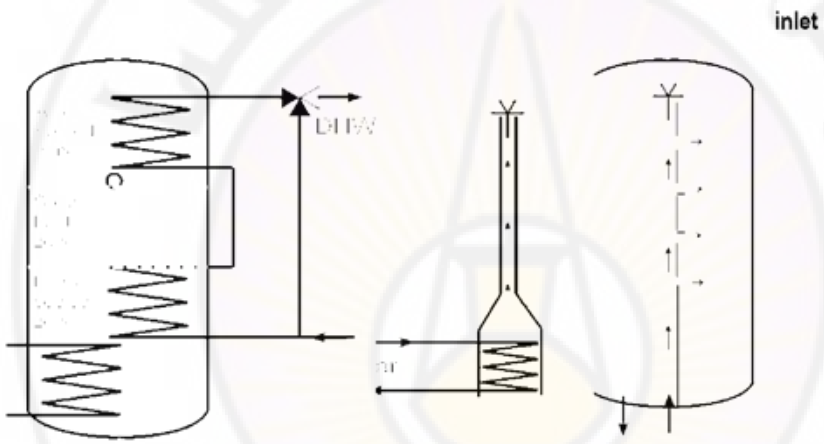


الشكل (9.6.2) فاصل ثيرموسيفون لتجنب ضياع الحرارة المخزنة في وصلات الأنابيب، تقليدي (على اليسار Streicher 2003) ومن براءة اختراع في فاصل أنبوب (Wagner 2001)

7.6.2 أجهزة ترتيب الطبقات (Stratifying devices):

لا يحقق كل من المبادل الحراري الداخلي والمدخل المباشر تشكيل الطبقات تشكيلاً تاماً، لذلك تطبق عدة طرق لتحسين تشكيل الطبقات. الأول والأبسط ، هو زيادة عدد المبادلات الحرارية الداخلية كما هو موضح بالخزّان على اليسار في الشكل (10.6.2). هذا الترتيب يشكّل طبقات أكثر بين المبادلات الحرارية وهكذا درجة التطبق تكون أعظم. على كل حال، كل طبقة من الطبقات تسخن /تبرد بالمبادلات الحرارية، ودرجة الحرارة في المناطق لا تتغير بسرعة. لتشكيل منطقة متغيرة الحجم يمكن أن تسخن وتبرد بسرعة، يضيف الكثير من الصناع أنبوب **stratifying tube** للمبادل الحراري الداخلي كما هو موضح في الخزان المتوسط اليساري في الشكل(10.6.2). يستعمل مبادل حراري داخلي يتوضع في أنبوب ترتيب(**stratifying tube**)

هذا الأنبوب يعمل بطريقة مشابهة للأنبوب المباشر. ومع ذلك، فإنّ التدفق في الأنبوب وبالتالي فإنّ درجة الحرارة عند مخرج الأنبوب تعتمد على درجات الحرارة في الخزان وكذلك من مصدر الحرارة، لأن التدفق هو نتيجة للحمل الحراري الطبيعي. هذا التدفق يمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً تبعاً للظروف داخل الخزان . وهكذا مع هذا الأسلوب، المياه التي تدخل الخزان من الأنبوب يمكن أن تكون أسخن أو أبرد من المياه المحيطة بها.

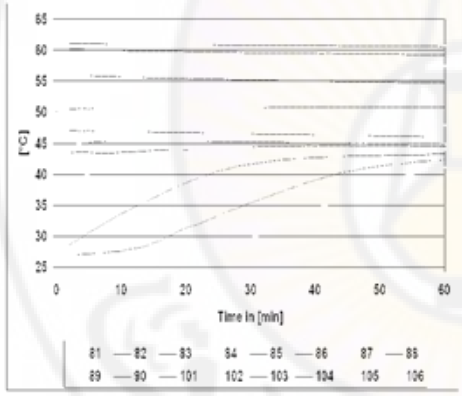


الشكل (10.6.2) أربع طرق مختلفة: مبادلات حرارية داخلية عديدة (لليسار). أنبوب تطبق بمخرج وحيد(في الوسط على اليسار) وأنبوب تطبق متعدد المخارج (في الوسط على اليمين وفي اليمين). وحدة ترتيب الطبقات يمكن أن تستعمل مع مبادل حراري داخلي أو من أجل مداخل أخرى بدرجات حرارة مختلفة . (Streicher & Bales 2005)

الطريقة الأخرى هي استعمال وحدة ترتيب (stratifying unit) بعدة مخارج، كما هو موضّح على الجانب اليميني من الخزانات في الشكل (10.6.2) . يسمح هذا الترتيب للمياه بمغادرة الوحدة عند ارتفاع تكون فيها درجة الحرارة ذاتها في الخزّان، بهذا يزيد تكون الطبقات(التطبّق). هذا يمكن أن يكون مفيداً عندما تتغير درجة حرارة مدخل الخزان مع الوقت، كما يحدث مع مدخل الطاقة الشمسية والخط العائد من دارة التدفئة. وحدات stratifying unit هي أفضل من الطريقتين الأخريين، لكن يتطلب الحذر أكثر. وحدات الترتيب stratifying units

تستعمل بنجاح مع كل من المبادلين الحراريين الداخلي والخارجي في الدارة الشمسية ومن أجل الخط الراجع من دارة تسخين الهواء (دارة التدفئة).

كل من أنابيب ووحدات الترتيب يمكن أن تستخدم استخداماً أفضل في حالة الأنظمة المنخفضة التدفق. يبين الشكل (11.6.2)وحدة ترتيب طبقات تعمل بشكل جيد عندما تكون درجة الحرارة في الأنبوب بين درجة الحرارة في أعلى الخزان وأسفله، في الحقيقة تكون بين تلك عند المخرجين الثاني والثالث.



الشكل (11.6.2) وحدة التطبق في خزانات الماء الساخن تبين المخارج في وسط الخزان ملون بالحبر (Solvis, Germany) قيست درجة حرارة الخزان على ارتفاعات مختلفة (Essert 1995)

7.2. المواد المتغيرة الطور:

تخزين الطاقة يمكن أن يكون حرارياً أو كيميائياً. التخزين الحراري يمكن أن يكون التخزين الحراري محسوساً ويتم برفع درجة حرارة وسيط التخزين للماء والصخر، أو يكون تخزين الحرارة كامناً وذلك بتغير الحالة الفيزيائية لوسيط التخزين والذي يمكن أن يكون على شكل صلب–صلب، أو سائل–غاز أو صلب–سائل. الشكل الأكثر شيوعاً من التخزين الحراري المحسوس هو الكتلة

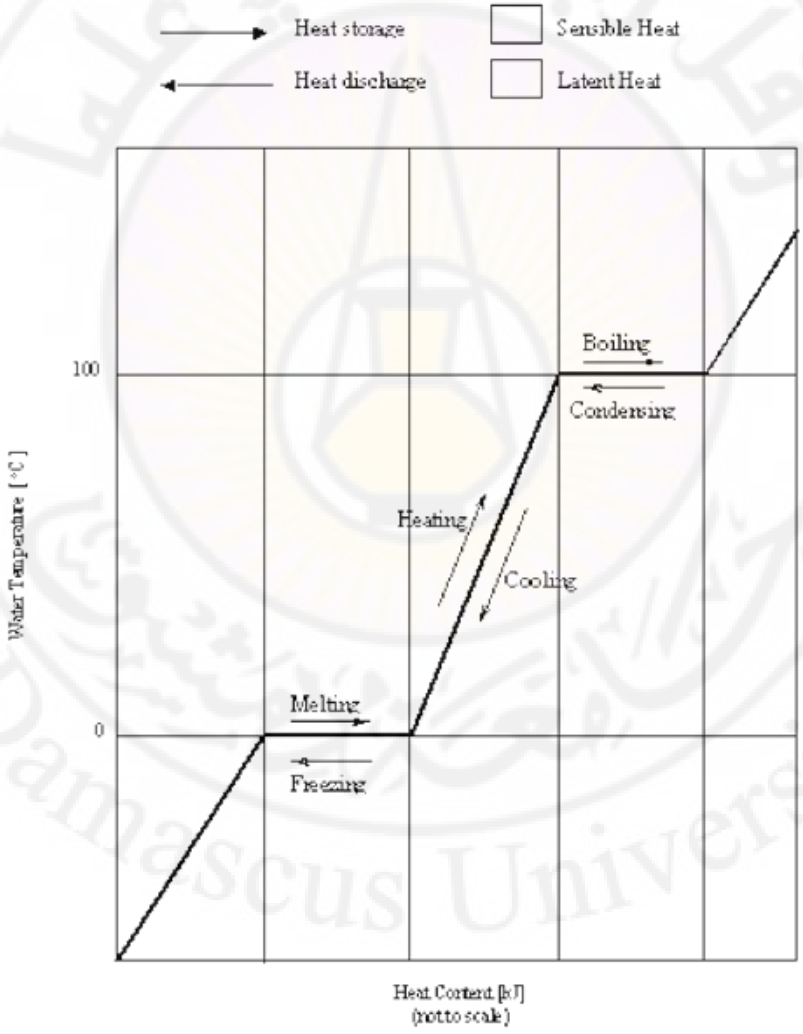
الحرارية المدمجة مع هيكلية البناء والتي تستخدم كخزان حرارة(أبنية Passive). يوجد الكثير من **المساوئ** لتخزين الحرارة المحسوس، حيث أنه من الصعوبة بمكان تحديد كمية الكتلة الحرارية الصحيحة اللازمة لتغطية حمل التدفئة المطلوب وكذلك لايمكن تخزين الطاقة وإطلاقها عند درجة حرارة ثابتة. طريقة التخزين هذه غير كفوءة أيضاً كأن تأخذ أقل طاقة لرفع درجة حرارة المادة أكثر من المطلوب لتغيير بنيتها من الصلب أو البلورة إلى السائلة، ولذلك لخزن كمية الطاقة نفسها يتطلب كميات كبيرة جداً من وسط التخزين للتخزين بالمقارنة مع خزانات الحرارة الكامنة. ويوضح هذا بالحقيقة التالية: أن الاستطاعة الحرارية المحسوسة للإسمنت تقريباً [kJ/kg] 1.0 بالمقارنة مع كلوريد الكالسيوم والذي يمكنه أن يخزن أو يطلق [kJ/kg] 190 أثناء التغير الطوري، علاوة على ذلك التخزين المحسوس يأخذ مكاناً كبيراً ووزناً كبيراً أيضاً وهذا ما ينعكس على الكلفة التأسيسية.

إنّ استعمال خزن الحرارة الكامنة يكون مناسباً مثالياً حيث أنه يمكن تخزين كميات أكبر من الطاقة لكل وحدة حجم بالمقارنة مع خزن الحرارة المحسوس والذي يؤدي إلى توفير كبير في المكان.

الفائدة الرئيسية الأخرى بخزن الحرارة الكامنة تتمثل في أن الحرارة تخزن تحت الشروط المتساوية الحرارة (isothermal)، والتي تعني بأنّهم يمكن أن يُوزعوا أو يُخزنوا طاقة في درجة حرارة ثابتة. إن استعمال خزن الحرارة الكامنة مناسب خصوصاً لخزن الطاقة الشمسية الذي يمكن أن ينتج في كفاءة المجموعة الشمسية العالية، التي تعني بأنه يمكن تخفيض % 30 من مساحة المجمع الشمسي.

لشرح ماهي المادة المتغيرة الطور فإنه يجب أن نأخذ **مثالاً** الماء الأكثر بساطة واستخداماً. إن الماء في الحالة السائلة يطلق حرارة عندما يبرّد إلى حدّ البلورة [°C] 0. هذه العمليةِ مماثلة في المرحلة الأخرى [°C] 100 عندما يغلي الماء يؤدّي إلى خزن حرارة وعند تكثيفه يطلق الحرارة. تخزين الحرارة الكامنة واطلاقها عند الدرجة [°C] 100 يعني حرارة كامنة من التبخير وتخزين الحرارة وإطلاقها عند الدرجة (0) يعني حرارة كامنة من الانصهار.

إن مبدأ تخزين الحرارة الكامنة هو أنه يستخدم مواد متغيرة الطور (PCMs) يمكن أن تدمج إلى نظام خزن حراري مناسب للاستعمال في الأبنية حيث يمكن تركيب لواقط شمسية على السقف لجمع الطاقة الشمسية المتوفرة أثناء اليوم، التي ستخزن في (PCMs) للاستعمال لاحقاً. التغير الطوري للماء مبين في الشكل (1.7.2).



الشكل (1.7.2) التغير الطوري للماء

يبين الجدول (1.7.2) مقارنة بين قيم الفولاذ والنحاس والماء ومركب(PCM) نموذجي يدعى سلفات الصوديوم، يمكن أن نلاحظ أن الفولاذ والنحاس يبدي أقل حرارة كامنة لدرجات انصهار عالية. بقياس قيم الكثافة يمكن أن نرى أيضاً أنه يتطلب حجوماً كبيرة من المكان. بالرغم من أن الجليد يأخذ أفضل القيم، لكن درجة حرارة ذوبانه منخفضة وغير مناسبة لاستخدامها كوسائل خزن الحرارة. من الواضح أن مادة (PCM) تبدي قيماً مثالية، فهو يتطلب حجماً صغيراً ليؤمن حرارة الانصهار نفسها بالاضافة إلى أن درجة ذوبانه منخفضة لهذا (PCM) يمكن أن يستعمل لخزن الحرارة.

الجدول(1.7.2) مقارنة بين الخصائص الفيزيائية لكل من الفولاذ والنحاس والماء ومركب(PCM) نموذجي

المادة	درجة الذوبان[°C]	الحرارة الكامنة[KJ/Kg]	الكثافة [Kg/m^3]
فولاذ	1400	247	7800
نحاس	1086	206	8900
جليد	0	335	917
سولفات الصوديوم	32	252	1495

الآن يجب أن نميز(PCM) المطلوب للمُكاملة في نظام التدفئة المناسب. يوجد عدة أنواع من (PCMs) لكن المجموعات الثلاث الأكثر شيوعاً من (PCMs) هي المركبات العضوية، والمركبات اللاعضوية و(Eutectics).

1.7.2.المركبات العضوية:

تعتمد هذه المركبات على البارافينات إذ إن تغير درجة حرارة ذوبان المادة تتعلق بكمية ذرات الكربون التي تمتلكها. البارافين الأبيض الصافي يحتوي على 14-40 ذرة كربون، بينما بارافين الشموع يحتوي على 8-15 ذرة كربون. تمتلك مجموعة (PCMs) العضوية عدة **فوائد** فهي تمتلك تشكيلة واسعة من درجات الانصهار وغير سامة ولا تتآكل ولا تمتص الرطوبة ومستقرة كيميائياً وتتوافق مع معظم المواد الإنشائية ولها حرارة كامنة عالية لكل وحدة وزن.

بعض **المساوئ** لمجموعة (PCMs) العضوية هي: الثمن الباهظ وهذا ما دفع بعض الباحثين للبحث لتحقيق كثافة منخفضة ومعامل توصيل حراري عالٍ بالمقارنة مع المجموعة اللاعضوية. هذه المجموعة تخضع لتغيرات كبيرة في الحجم عند الذوبان والذي يمكن أن يؤدي إلى فصلها عن جوانب القالب عندما تتجمد، والذي يمكن أن يؤثر في عمليات انتقال الحرارة. من المساوئ المحتملة لـ (PCMs) العضوي هو قابليته للاحتراق. يبين الجدول (2.7.2) بعض الخصائص الفيزيائية لمجموعة (PCMs) العضوية

الجدول (2.7.2) بعض الخصائص الفيزيائية لمجموعة (PCMs) العضوية

المادة	درجة الإنصهار [°C]	حرارة الإنشطار [kJ/kg]
أوكتاديكان(Octadecane)	28	244
إيكوسان(Eicosane)	36.7	247
بارافين116	45-48	210
بارافين 6403	62-64	189

2.7.2.المركبات اللاعضوية:

تتألف هذه المركبات بشكل رئيسي من مواد كيميائية مثل الهيدروكسيدات أو الأكاسيد، والذي يخفف في محلول حمضي ويعرف كملح مميه أو ملح مائع. **مميزات الملح المميه** هي أنه رخيص الثمن بالمقارنة مع (PCMs) العضوي وتمتلك حرارة كامنة عالية بكل وحدة كتلة وحجم، ولها معامل توصيل حرارة عالٍ بالمقارنة مع المركبات العضوية وتمتلك مجالاً واسعاً من نقاط الذوبان من ([°C]117-7). على أية حال يمكن أن تعاني هذه المركبات من خسارة الماء عندما تخضع لعمليات حرارية طويلة المدى بسبب ضغط البخار. إن العائق الرئيسي بالملح المميه هو أنهم يمكن أن يتناقصوا بمرور الوقت بسبب عمليات معروفة كالفصل. هذا حيث يَذُوبُ (PCM) بتنافر وينتج جزءان منفصلان، جزء ماء وجزء صلب والتي تمتلك كثافات مختلفة، ولذلك يستقر الجزء الصلب الكثيف في أسفل الحاوية وهذه العملية غير قابلة للعكس.

على أية حال، المشكلة في هذا النوع من المركبات تحدث من دارات تغيير الطور المتكرّرة أثناء التجمّد، إذ يذوب الملح المميه بتفاوت. هذه النتيجة تكون في مركّب فيه هيدرات أقل من الملح نفسه. بمعنى آخر يمكن القول إن المركّب الأصلي لم يعد نفسه وتنتج حرارة أقل من الانصهار. يبين الجدول (3.7.2) بعض الخواص الفيزيائية لبعض مواد (PCMs) اللاعضوية.

الجدول (2.7.2) بعض الخواص الفيزيائية لبعض مواد (PCMs) اللاعضوية.

المادة	درجة الإنصهار[°C]	حرارة الإنشطار[kJ/kg]
هيدرات سلفات الصوديوم	32.4	252
هيدرات كلوريد الكالسيوم	27-29.7	170
هيدرات نترييد الزنك	36	147

PCM.3.7.2 الانصهاري (Eutectics):

PCM (Eutectics) الانصهاري هي مجموعة من مركبين أو أكثر إما عضوي أو لاعضوي أو كلاهما والذي لربما لهما درجة انصهار أكثر أهمية من المركبات نفسها في الحال الفردية ومركباتهم المنفصلة. يبين الجدول (4.7.2) بعض الخواص الفيزيائية لبعض مواد PCMالانصهاري (Eutectics).

إنّ المشكلة الرئيسية بهذه المركّبات الكلفة، لأنها في الحقيقة أكبر حوالي مرتين وثلاث مرات من المركبات العضوية أو اللاعضوية. يبين الجدول (4.7.2) خواص بعض مواد PCMالانصهاري.

الجدول (4.7.2) بعض الخواص الفيزيائية لبعض مواد PCM الانصهاري(Eutectics).

المادة	درجة الانصهار [°C]	حرارة الانشطار [kJ/kg]
حمض البالمتيك (عضوي)	63	187
حمض مايستيريك (لاعضوي)	54	187
حمض استيريك(عضوي/لاعضوي)	70	203

3.7.2.تخزين الحرارة الكامنة (Latent heat store):

تغير الطور لمادة يتم عند درجة حرارة ثابتة بشحنها وتفريغها بالطاقة. خلال عمليات الذوبان أو التبخر تضاف الحرارة، وبالمثل تطلق الحرارة خلال عمليات التجمد أو التكاثف. درجة حرارة الذوبان والتجمد، ودرجة حرارة التبخر والتكاثف تكون هي نفسها في تلك الحالة. تدعى الحرارة المخزنة أو المحررة من المادة خلال هذا التغير الطوري بالحرارة الكامنة أو حرارة الانصهار. إذا حدث التغير الطوري عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط فإن الحرارة الكامنة تخزن في المادة، لكي نخزن حرارة فإنه يجب إضافة حرارة وفقاً لذلك لكي تزيد درجة الحرارة إلى مستوى درجة حرارة التغير الطوري.

في حالة تخزين الحرارة وكانت درجة الحرارة منخفضة فإنه يستعمل التغير الطوري من الصلب إلى السائل فقط، كما أن الحجم يزيد خلال التغير الطوري من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تحت شروط الضغط الطبيعي.

تعرّف خزانات الحرارة الكامنة بمستوى عالٍ من كثافة الطاقة. السيئة الرئيسية هي تغير الحجم الذي يحدث أثناء تغير الطور. بعض المواد يمكن أيضاً أن تبرد كثيراً أثناء عملية إطلاق الحرارة. أيضاً توجد مشكلة أخرى وهي توصيل الحرارة المختلف في الحالة الصلبة والسائلة. إذا استخدمت أملاح لاعضوية فستضاف مشكلة أخرى وهي التآكل.

يجب أن يمتلك أي نظام TES على الأقل المكونات الثلاثة التالية:

- مادة تخزين حراري تخص التغير طوري ضمن مجال درجات الحرارة المرغوب، وعند إضافة الحرارة فيتم تخزينها بكامل جسم المادة بشكل حرارة كامنة.
- حاوية لمادة التخزين.
- سطح مبادل حراري لنقل الحرارة من مصدر الحرارة إلى وسيط أو مادة التخزين ثم من الأخير إلى المنبع أو إلى مكان تصريف الحرارة مثلاً، من المجمع الشمسي إلى مادة تخزين TES ثم إلى دارة الحمل.

تستخدم بعض النظم بلورات إما $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ أو $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ كوسائط تخزين، ويستخدم زيت في المبادل الحراري.

تتطلب تطبيقات الطاقة الشمسية سعات كبيرة من TES من أجل تغطية مطلب الطاقة لمدة يومين كحد أدنى. ويتم تحقيق هذا المطلب بواسطة تخزين الحرارة المحسوسة في خزانات ماء

كبيرة. وبديلاً لذلك تستخدم نظم تخزين الطاقة الحرارية الكامنة مثلاً (حرارة الانصهار عند التحول الصلب–السائل)، المزايا الرئيسية لنظم TES الكامنة هي السعة التخزينية الكبيرة للطاقة الحرارية لواحدة الكتلة مقارنة مع تلك للنظم الحرارية المحسوسة.

إن المحاليل الملحية التي تمتص مقداراً كبيراً من الحرارة خلال الانصهار مفيدة جداً لتخزين الطاقة، وتستخدم الأملاح الانصهارية والهيدرات بشكل واسع. ملح غلاوبر (هيدرات سولفات الصوديوم) هو PCM جيد ومنتشر جداً لما له من سعة تخزينية حرارية كبيرة [kJ/kg] 280 ويتميز بدرجة حرارة تغير طوري مناسبة للنظم الشمسية ($31.5[^{\circ}C]$).

يمكن أن يكون PCM محتوىً في قضبان أو أغلفة بلاستيكية لتسهيل دورة التجمد–الذوبان. هذه الموديولات الصغيرة، والعدد الصغير من الموديولات المطلوبة للتخزين تجعل من التخزين بواسطة التغير الطوري مناسباً جداً خصوصاً للاستخدام في التصميم التقليدي أو تحديث الأنظمة القديمة.

إن TES الكامنة هي تقنية تخزين واعدة، لأنها تزود كثافة تخزين عالية الطاقة، ويمكن أن تخزن وتطلق الحرارة عند درجة حرارة ثابتة بالتوافق مع درجة حرارة التغير الطوري لوسيط تخزين الحرارة.

4.7.2.المبادئ التشغيلية لنظم TES الكامنة.

المعايير الأكثر أهمية التي يجب تحقيقها بواسطة مادة التخزين من أجل TES الكامنة والتي تمر خلالها المادة بتغير طوري صلب–سائل أو سائل–صلب هي كما يلي:

- انتالبي كبير عند التغير الطوري بالنسبة لواحدة الكتلة.
- القدرة على عكس التغير بالكامل.
- درجة حرارة كافية للتغير الطوري.
- الاستقرار الكيميائي والتوافق مع الحاوية (الخزان) إذا وجد.
- تغير حجمي محدود مع التغير الطوري.
- غير سامة.
- تكلفة منخفضة، وذلك بالنسبة للتطبيق المتوقع.

تكون مواد PCM محتواة غالباً في حاويات صلبة، متكدسة، غير نفوذة للماء ومصنوعة من البوليريثلين العالي الكثافة. وتوضع الحاويات المملوءة بالملح الانصهاري في الخزان. تحتل الحاويات حوالي ثلثي حجم الخزان، وذلك كي يكون ثلث الخزان مملوءاً بالماء المستخدم كوسيط لنقل الحرارة. تبلغ كثافة الملح الانصهاري حوالي 1.5 ضعف ما هي للماء ولذلك فإن هذه الحاويات لا تطفو أو تتمدد عند تجمد PCM ويتم الحفاظ على ترتيبات ووضعيات المساحة المخصصة بالحاويات وانتقال الحرارة خلالها على طول دورة التجمد/الذوبان.

أحد نقاط قوة الأملاح الانصهارية الأشد هي طول العمر أو الاستخدام المتكرر لمواد PCM المملوءة بالحاويات الذي يزيد على 20 سنة أو أكثر أي آلاف دورات التجمد/الذوبان لهذه الوسائط المستخدمة في النقل الحراري. ولكون هذا النظام ذاتياً أي أنه لا يوجد داخله أجزاء ميكانيكية، فإن صيانة هذا النظام التخزيني تعد مجانية (بعيداً عن معالجة المياه).

5.7.2. متطلبات المواد المتغيرة الطور(PCMs):

ينحصر مجال تطبيق TES الكامنة في مجال درجات الحرارة $0-120\ ^{\circ}C$ على تطبيقات متنوعة منخفضة درجة الحرارة، مثل تدفئة الفراغ، إنتاج المياه الساخنة المنزلية، تسخين الفراغ بمساعدة المضخة الحرارية، تسخين البيوت البلاستيكية، التبريد الشمسي وهلم جرا...

من الهام جداً معرفة خواص التجمد والانصهار لمواد PCM وقدرتها على المرور خلال الدورات الحرارية وتوافقها مع مواد البناء، وذلك لتقييم الأداء قصير وبعيد المدى لنظم TES الكامنة.

6.7.2.معايير لاختيار المواد المتغيرة الطور:

1-المعايير الترموديناميكية:

- نقطة الانصهار عند درجة حرارة التشغيل المطلوبة.
- حرارة كامنة مرتفعة للانصهار لواحدة الكتلة، وبذلك تقوم كمية أقل من المادة بخزن الكمية المحددة من الطاقة.
- الكثافة العالية، ولذلك تحتل هذه المواد حيزاً أقل.

- الحرارة النوعية المرتفعة، وبالتالي يمكن حدوث TES محسوس.
- الموصلية الحرارية العالية، وبالتالي هناك حاجة لفرق صغير في درجات الحرارة لشحن وتفريغ الخزان.
- الانصهار المتطابق، أي أن المادة يجب أن تنصهر بالكامل حتى يصبح طورا الصلب والسائل متجانسين.
- التغيرات الصغيرة في الحجم خلال التغير الطوري، وبالتالي يمكن استخدام مبادل حراري بسيط وحاوية بسيطة.

2- المعيار الحركي:

لا يحدث فرط تبريد أو يحدث بنسبة ضئيلة جداً خلال التجمد، أي أن الانصهار يبدأ بالتبلور عند نقطة تجمده. يمكن تحقيق هذا المعيار بواسطة نسبة عالية من الأنوية ومعدل نمو جيد للبلورات. يمكن منع حدوث فرط التبريد بواسطة إضافة عامل تكتل أو حافز تبريد إلى مادة التخزين.

3- المعيار الكيميائي:

- الاستقرار الكيميائي.
- لا يوجد شراهة للتفكك الكيميائي، لذلك يمكن التشغيل على لعمر طويل.
- أداء مانع للصدأ لمواد البناء.
- غير سام وغير قابل للاشتعال وغير متفجر.

4- المعايير التقنية:

البساطة والقابلية للتطبيق والفعالية والحجم الصغير والتوافق وإمكانية النجاح والوثوقية.

5- المعايير الاقتصادية:

التوفر التجاري والتكلفة المنخفضة.

7.7.2. اختيار PCM من أجل TES الكامن:

لا يتوفر في كل مادة الخواص المثلى لتصبح مادة من مواد PCM، وإن اختيار مادة PCM من أجل تطبيق ما يتطلب الدراسة الحذرة لخواص الكثير من المواد. ومن بينها تريهدرات أسيتات الصوديوم وهو يستحق عناية خاصة لما له من حرارة انصهار-تبلور كامنة مرتفعة جداً تبلغ $264-289 kJ/kg$ ودرجة حرارة انصهاره $[^{\circ}C]$ 58.4-58. لكن تبدي هذه المادة فرط تبريد كبيراً، مما يمنع استخدامها في التطبيقات العملية على نطاق واسع، وعلى الرغم من ذلك فقد أجريت العديد من المحاولات لإيجاد طرق منع هذه الظاهرة أو تقليلها. وهناك خواص فيزيوحرارية ذات أهمية عملية في اختيار مواد PCM من أجل التطبيقات الحرارية الأخرى وهي كما يلي:

- حرارة الانصهار.
- السعة الحرارية للطور الصلب والسائل.
- الموصلية الحرارية للطور الصلب والسائل.
- كثافة طور الصلب والسائل.

العامل المهم الآخر في اختيار مواد PCM هو التكتل (التبلور) وفرط التبريد. الكثير من مواد PCM تبدي فرطاً للتبريد، أي عند محاولة تجميد المادة فإن درجة الحرارة تنخفض كثيراً تحت نقطة الانصهار قبل أن يبدأ التجمد. على الرغم من أن درجة الحرارة ترتفع إلى نقطة التجمد حالما يبدأ التجمد، فإن فرط التبريد غير مرغوب في TES الكامن لأنه يمنع استرجاع الحرارة المخزنة. ولهذا السبب، تستخدم أحياناً المواد المحفزة للتكتل أو التبلور.

الفصل الثالث

المتطلبات الصحيّة للمياه الساخنة المنزلية

Hygienic requirements for domestic hot water

Damascus University

المتطلبات الصحيّة للمياه الساخنة المنزلية

Hygienic requirements for domestic hot water

المياه الساخنة المنزلية في البلدان الأوروبية يجب أن تُلبي عادةً متطلبات نوعية من أجل أن تكون صالحة للشرب، ولذلك، هنالك قيود على المواد التي يمكن أن تكون على تماس مع المياه. في الصين مثلاً لا توجد مثل هذه القيود والمجال واسع أمام جميع المواد المستخدمة في أنظمة تسخين المياه المنزلية كالخزانات والأنابيب.

بالإضافة إلى المتطلبات الصحية لأجل مياه الشرب، يجب الانتباه إلى منع نمو الكائنات العضوية الضارة Legionellan، مثل الطحالب(الأشنيات). المشكلة ليست بوجود هذه الكائنات في مياه الشرب، ولكن المشكلة إذا دخلت إلى الرئتين.

هذه الكائنات لا تسبب مشكلة في نوعية المياه المسخنة شمسياً أو تخزينها، ولكنها يمكن أن تحدث في أي تجهيزات لتسخين المياه خصوصاً عندما تكون درجة الحرارة بين [°C] 30 و [°C]40 ، وكانت المياه في حالة ركود لفترة طويلة. لأنها تسبب أمراضاً خطيرة ومميتة، في هذا الفصل سنتعرف عليها ببعض التفصيلات.

1.3 كائنات عضوية دقيقة ضارة (Legionella):

1.1.3. المظاهر العامّة:

أول انتشار للوباء سجل في عام 1976 ، حيث عقد مؤتمر في أتلانتا. حيث أصيب 221 صيدلاني بمرض ذات الرئة، وقد مات 34 حيث أكد التقرير أن العدوى تحصل بـ Legionella، الموجودة في أنسجة الرئة.

Legionella هي مرض يصيب بشكل رئيسي الناس العجزة والمدخنين والناس المصابين بمشاكل في الرئة، وهي بكتيريا بعرض يتراوح من 0,3-0,9µm، وطولها 1,5-5µm. وهي عبارة عن كائنات متحركة، وهي تعيش في مجال واسع من الظروف المحيطة: تتراوح درجة الحرارة من 0-63 [°C]، يتراوح PH من (5-8,5)، وتركيز الأكسجين في الماء 0,2-15ppm . تستطيع العيش لسنوات طويلة في الماء المخزن بين [°C] 2-8 . يمكن أن توجد Legionella بأشكال مختلفة. 10-15% من الناس المصابين بالمرض يموتون.

نظرياً يمكن أن نتخلص من مرض ذات الرئة إذا رفعت الكائنات الحية من المخزن الذي تعيش فيه. يوجد عوامل أخرى تلعب دوراً مهماً لظروف معيشة Legionella ولها تأثير (بناءً على دراسات مؤكدة) كوجود الحديد وترسبات الكالسيوم وكائنات أخرى وكلها تعطي شروطاً إيجابية لنموها. درجة الحرارة المثلى لتكاثر Legionella تتراوح من 30-45 °C . أما في درجات الحرارة بين [°C] 45-55 سيكون تركيزها أعلى من البكتيريا الأخرى الموجودة عادة في ماء الشرب. كذلك لا تضاعف البكتيريا نفسها تحت درجة الحرارة [°C] 20 ولا تعيش فوق درجة الحرارة 70 [°C]، لكن تبقى في حالة ثبات في الماء البارد وتضاعف نفسها عندما تصبح درجة الحرارة ملائمة.

يمكن أن تعيش Legionella مع البكتيريا المائية الأخرى. حيث تتقاسم المواد الغذائية والمساعدة فيما بينها. تتحسن شروط معيشة البكتيريا في الظروف التالية :

1. الماء الهادئ
2. عدم استعمال الأنابيب بشكل متكرر .
3. تناقص في تدفق الماء .
4. بعض مواد الأنابيب تساعد في ذلك .
5. درجة الحرارة في الماء تتراوح من [°C] 30-40 .

تضاعف Legionella نفسها داخل حيوان وحيد الخلية وفي الكائنات الصغيرة جداً حيث تتم حمايتها من الظروف غير الملائمة. في هذه الظروف يستطيع أن ينمو في موطنه بمجال واسع من درجة الحرارة. وهي أكثر مقاومة للماء المعالج بالكلور و(المبيدات الحيوية) biocides والمواد الأخرى وكذلك حتى في الظروف الجافة .

2.1.3 العدوى والأعراض في الكائنات الحية:

طريق العدوى المعروف والمحدد هو عندما يقوم الناس باستنشاق الهواء الملوث بـ Legionella، حيث يكون الأشخاص الأكثر خطورة هم ذوو المقاومة الضعيفة للأمراض. أما العوامل الأخرى المساعدة في زيادة العدوى فهي التقدم في السن والتدخين وتناول الكحول. أيضاً يكون انتشار العدوى أكثر للرجال منه في النساء .

يمكن أن تسبب العدوى مرضين منفصلين :

- حمى Pontiac، وهي مرض مشابه تماماً للإنفلونزا ويستمر ليومين، في الكثير من الحالات هذا المرض غير معروف كثيراً .
- مرض Legionnaires ، وله فترة حضانة من 2 ــ 10 أيام ، مجموعة الأمراض الّتي تظهر تكون مشابهة للإنفلونزا. الإصابة تشبه الإصابة بالالتهاب الرئوي، يتبعها التهاب بمختلف الأعضاء. فقط 5% من الأشخاص المصابين يعيشون ومعهم المرض، ويموت 10 – 30 % منهم، ومن يعيش منهم يتحمّل ضرراً دائماً لرئتيه وأعضائه الداخلية.

3.1.3 التجهيزات تبعاً للخطورة :

التجهيزات يمكن أن تصنّف تبعاً لتكرار ظهور مستعمرات Legionella وتحديد مصدر نشوء الوباء وتصنيفهم كالتالي :

- أنظمة توزيع الماء المنزلي الساخن والبارد (شبكة، خزانات، مراجل، مسخنات) للمشافي والتجهيزات الأخرى المطلوبة لاستكمال المشاريع (حمامات، تجهيزات الرياضة، حمام بخاري).
- أبراج التبريد ومكثفات البخار ودارة المياه الخاصة بهم.
- التجهيزات الحرارية وأنظمة التوزيع.

4.1.3 السيطرة على Legionella :

أفضل الطرق للسيطرة على Legionella في شبكات الماء الصالح للشرب هي طرق منع حرارية وطرق استخدام المطهرات. لنمنع Legionella من الظهور، يجب أن تبقى الحرارة تحت

[°C] 25-20 (مع نمو صغير) ، أو فوق [°C] 50 (نموها غير محتمل). أما فوق الدرجة 60 [°C] ستموت Legionella. في بعض الظروف، تطبق بعض وسائل السيطرة على Legionella مثل تنظيف الأنابيب أو إعادة تسخين الماء. أحيانا تستخدم درجات الحرارة المرتفعة للتخلص من Legionella.

الجدول (1.1.3) زمن تنظيف الأنابيب أسبوعياً وإعادة التسخين كتابع لدرجة الحرارة .

الجدول (1.1.3) زمن الجريان وزمن إعادة التسخين كتابع لدرجة الحرارة

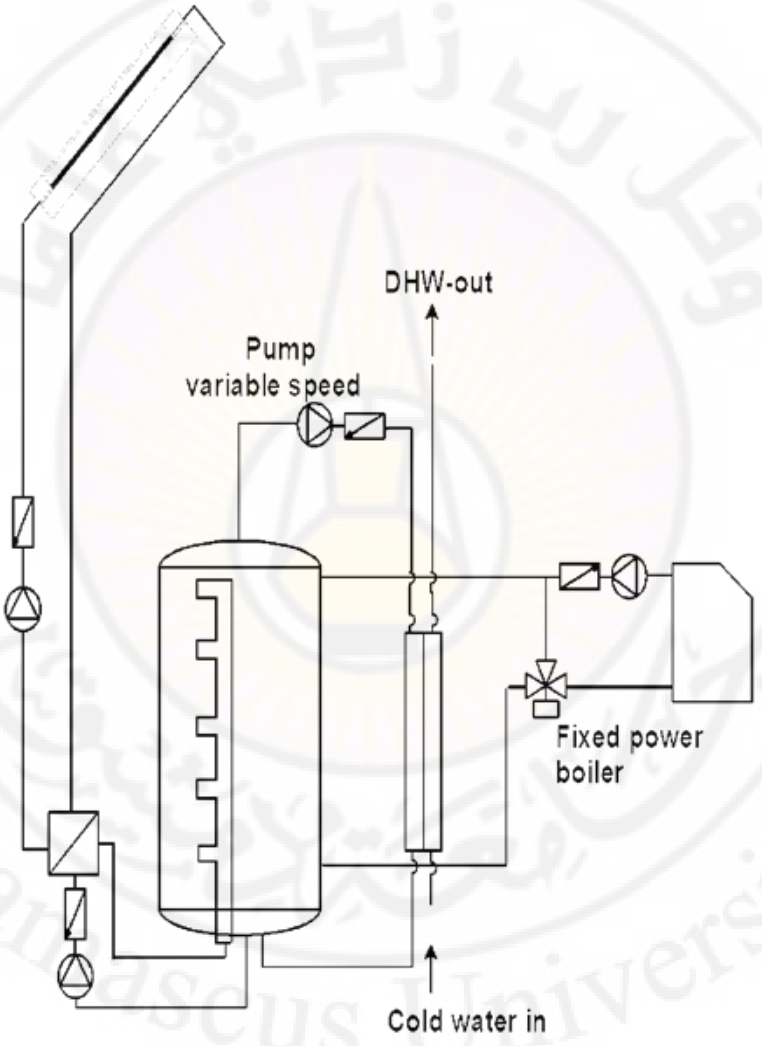
درجة الحرارة	زمن الجريان في حالة الجريان الأسبوعي	زمن إعادة التسخين
60[°C]	20 min	10 min
65[°C]	10 min	1 min
70[°C]	5 min	10 s

بالإضافة إلى المعالجة الحرارية، توجد طرق كيميائية مع طرق فيزيائية أو بدونها بالإضافة لطرق مختلفة للسيطرة على Legionella. الأنابيب الراكدة أو الأنابيب غير المنظفة تشكل أرضية صالحة لنمو Legionella .

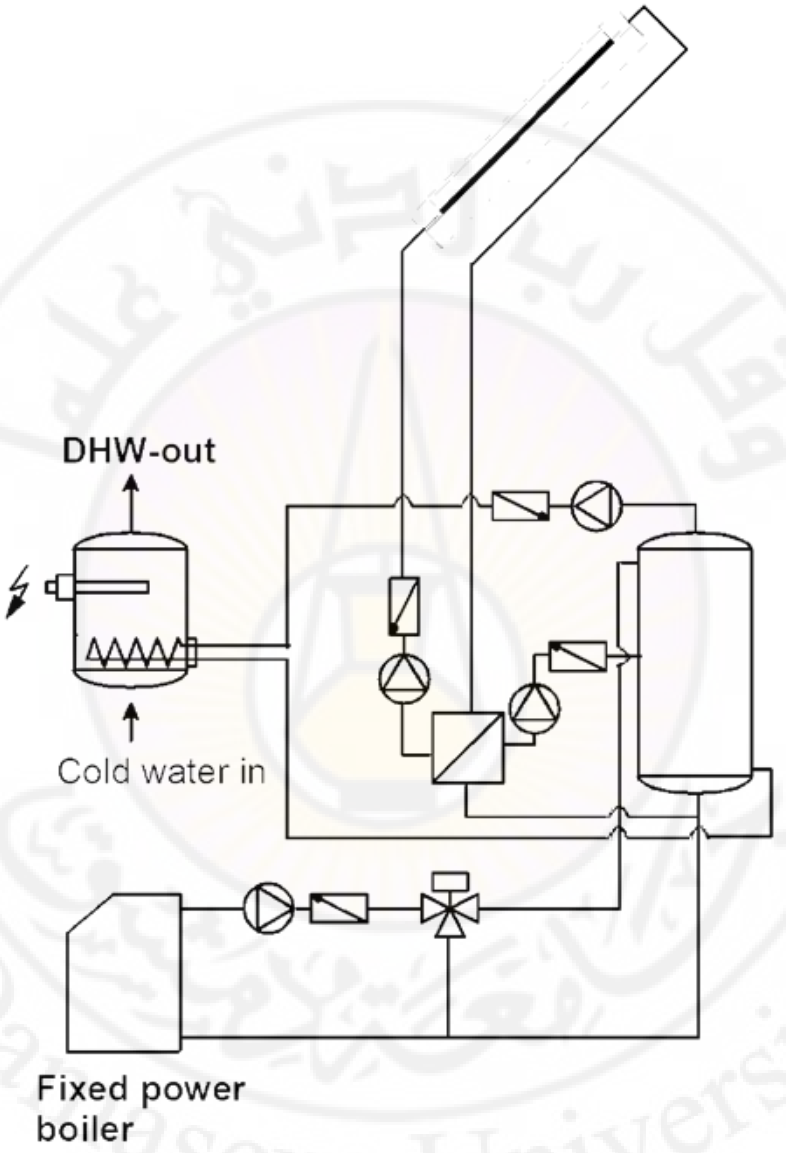
5.1.3 تجنب Legionella باستخدام الدارات الهيدروليكية المناسبة:

الطريقة الأسهل هي عدم استعمال خزانات الماء الساخن حيث يسمح الماء المخزن عند درجة حرارة معينة بنمو Legionella . والاستعاضة عنها بمبادلات حرارية، حيث يسخن الماء المنزلي المطلوب تسخينه . كما أنَّ سكون الماء في الأنابيب بعد المبادل الحراري ربما يؤدي إلى نمو Legionella عندما توجد خطوط توزيع طويلة للماء الساخن . لذلك يوضع المبادل الحراري في المكان حيث نستخدم الماء الساخن .يبين الشكلان (1.1.3) و(2.1.3) الدارات الهيدروليكية

المناسبة لتجنب Legionella، في الشكل (1.1.3) يستخدام مبادل حراري لخزان مياه الاستخدام المنزلي، وفي الشكل (2.1.3) يستخدم خزان صغير إضافي .



الشكل (1.1.3) دارة هيدروليكية مناسبة لتجنب Legionella يستخدام مبادل حراري لخزان مياه الإستخدام المنزلي



الشكل (2.1.3) دارة هيدروليكية مناسبة لتجنب Legionella تستخدم خزاناً صغيراً إضافياً.

الفصل الرابع

مخططات استهلاك الحرارة والأحمال

Loads and Heat consumption profiles

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مخططات استهلاك الحرارة والأحمال

Loads and Heat consumption profiles

1.4. متطلبات الماء الساخن المنزلي:

بنظرة حول كمية المياه الساخنة المطلوبة اليومية القياسية في وسط أوروبا يمكن مناقشتها من خلال الجدول التالي (1.1.4):

الجدول(1.4) كمية المياه الساخنة المطلوبة القياسية لمختلف التجهيزات حسب (VDI 2067 (Sheet 4 1982

الأبنية التي تستخدم فيها المياه الساخنة	كمية المياه الساخنة المطلوبة لكل شخص حسب درجة حرارة الماء الساخن(Liter/day):		الحرارة النوعية المفيدة (Wh/day) لكل شخص بدرجة حرارة الماء البارد [°C] 10
	45 [°C]	60 [°C]	
الشقق السكنية:			
• طلب قليل	15- 30	10-20	600-1200
• طلب متوسط	30-60	20-40	1200-2400
• طلب عال	60-120	40-80	2400-4800
فنادق:			
• غرفة مع بانيو	135-196	95-138	5500-8000
• غرفة بدون دوش	74-135	50-95	3000-5500
• غرف أخرى أرخص	37-49	25-35	1500-2000
• فنادق درجة ثانية	37-74	25-50	1500-3000

مطاعم:	
• غسيل عند كل وجبة	230 460
• غسيل لكل مقعد	460 1160
ساونا لكل مشترك	2500-5000

هذه النظرة الشاملة مفيدة لتحديد الحجوم التخزينية للماء الساخن و/أو الاستطاعة اللازمة للتدفئة .

2.4. مخططات استهلاك الماء الساخن:

أظهرت مشاريع بحثية كثيرة في الماضي أن استهلاك الماء المنزلي الساخن من قبل أسر مختلفة Domestic Hot Water (DHW) يمكن أن يكون مختلفاً اختلافاً كبيراً.
على سبيل المثال: في VDI 2067 قيم استهلاك(DHW) بين liters /day /person (120-15) عند درجة حرارة [°C] 45 .

بالاعتمادعلى ذلك، فإنّ دراسات المحاكاة في Task 26 تأخذ قيمة liters /day /person 50 عند درجةحرارة [°C] 45 .

استخدمت مفاهيم مختلفة من أجل إعداد DHW في الأنظمة المركبة المختلفة في [Task 26]. في بعض الأنظمة، تستخدم خزانات DHW بشكلٍ منفصل، وفي بعض الحالات تستخدم مبادلات حرارية آنية لـ DHW. لتصاميم مختلفة، التطبق الحراري في الخزان والطاقة الجزئية المدخرة في النظام يمكن أن يكونا مختلفين تماماً اعتماداً على عدد مرّات ومدّة الاستهلاك (السحب) (draw-off). أيضاً عند بداية الاستهلاك يحصل تذبذب في درجة حرارة DHW.
البروفيلات المولّدة من استهلاك DHW موضحة في الشرح التالي :

يتألف كل بروفيل من قيمة لمعدل التدفق DHW وذلك من أجل كل خطوة زمنية في السنة. تمّ توليد بروفيلات من أجل ثلاثة مقاييس زمنية مختلفة. ومن أجل ظروف أكثر واقعية أُخذت الخطوة الزمنية دقيقة واحدة. لإنجاز أنظمة محاكاة عند خطوات زمنية أكبر من دقيقة واحدة، تمّ إنشاء بروفيلات أخرى عند مقياس زمني 6 دقائق. أخيراً، المرحلة الثالثة تمّ توليد بروفيلات بقيم

رئيسيّة ساعيّة من بروفيلات ذات خطوة زمنية [min] 6 . والمرحلة الثالثة من البروفيلات ضرورية لإجراء محاكاة لأنظمة تسخين شمسية كبيرة بخطوة زمنية أعلى من [min] 6.

اختيرت قيم معدل التدفق وزمن الحدوث بالطرق الإحصائية. الحمل الرئيسي في كل قيمة من بروفيلات DHW هو [litres/day] 100 عند درجة الحرارة [°C] 45. عندما يكون الطلب أعلى فإنّه يتم وضع بروفيلات باحتياجات مضاعفة عند كل خطوة:

(100 ،200 ،400 ،800 ،1600 ،3200 litres/day) بقيم عشوائية أوليّة مختلفة. بهذه الطريقة، من الممكن إنتاج بروفيل حمل لشقق سكنية متعددة الأسر.

بالإضافة لمعدلات التدفق، يجب معرفة التابع التمثيلي لدرجة حرارة الماء البارد من الشبكة العامة خلال السنة. تعطى درجة حرارة الماء البارد بتابع جيبي معطى بالمعادلة (1.2.4). قيمة ذروة التغير الموسمي ΔT_{sh} ، وزمن التغيّر d_{off} ، تختلف بشكل ملحوظ باختلاف المواقع. من أجل مواقع معينة لدراسات المحاكاة المختلفة، فإنّ قيم ΔT_{sh} و d_{off} تعطى بالجدول(1.2.4).

$$T_{frwat} = T_{av} + \Delta T_{sh} . \sin(360 \frac{time + (273.75 - d_{off}).24}{8760}) \qquad (1.2.4)$$

T_{frwat} [°C] درجة حرارة الماء البارد .

T_{av} [°C] المعدل السنوي لدرجة حرارة الماء البارد.

ΔT_{sh}[°C] معدل قيمة ذروة amplitude التغير الموسمي .

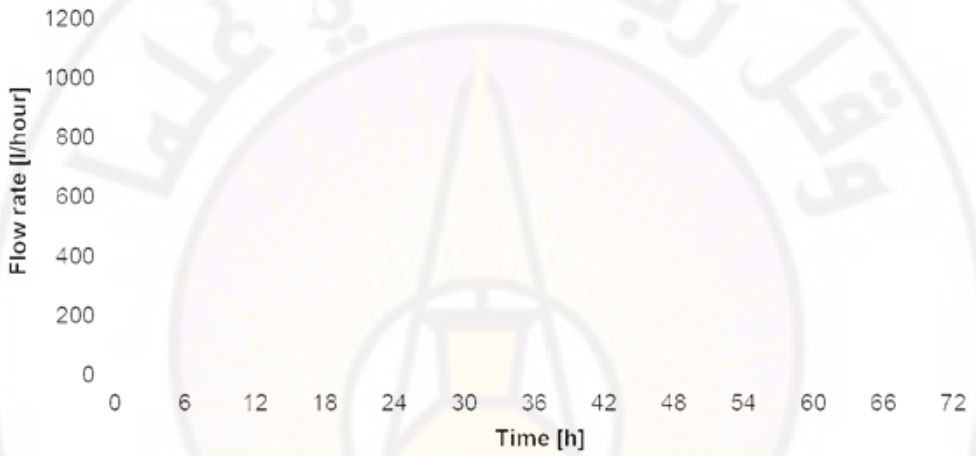
Time ساعة من السنة ، قيمة داخلية TRNSYS.

d_{off} بارامتر زمن التغير (يوم من السنة بدرجة حرارة عظمى).

الجدول (1.2.4) تغيير درجة حرارة الماء البارد تبعاً لاختلاف المناخ(EN 12976-2:2000)

الموقع	T_{av} [°C]	ΔT_{sh}[°C]	d_{off}
كارينتراس	13.5	4.5	19
استوكهولم	8.5	6.4	80
زيوريخ	9.7	6.3	60

في دراسات المحاكاة تم اختيار حجم الحمل الرئيسي حوالي [litres/ day] 200 من أجل عائلة واحدة . نأخذ مثالاً على ذلك أحد المنازل كما هو موضح في الشكل(1.2.4) ، حيث يظهر الشكل بروفيلاً لثلاثة أيام متعاقبة.



الشكل (1.2.4) بروفيل الحمل لـ 72 ساعة، من(1-3) كانون الثاني (200 l/day، الخطوة دقيقة واحدة) حسب الإجراءات المشروحة أدناه.

يمكن تعريف أربعة نماذج categories من الأحمال. تمّ توليد كل (بروفيل- نموذج) بشكل منفصل وطبّق بعد ذلك. القيم الفعلية لمعدلات التدفق تنتشر حول القيمة الحقيقية على شكل جرس (توزيع غوص) كما هو مبين بالمعادلة (2.2.4) ومشروح لاحقاً:

$$prob(\dot{V}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \frac{-(\dot{V} - \dot{V}_{mean})^2}{2\sigma^2} \qquad (2.2.4)$$

التوابع الاحتمالية تبدو في الشكل(2.2.4) .



الشكل (2.2.4) المدة الكلية للسحب (draw-off) أثناء سنة واحدة كتابع لنسبة التدفق. ثبتت مدة سحب. (ومثال على ذلك: أخذت في الحسبان 702 دوش أثناء السنة بمدة 5 دقائق لكل واحد .) وزعت نسب التدفق كتابع غوص. تقسم نسب التدفق: [L /min] 0.2 .

فيما يلي أربعة نماذج(categories) تصف أربعة أنواع مختلفة من الأحمال:

-Cat. A : حمل صغير (غسيل يدين . الخ).

-Cat. B : حمل متوسط (غسيل صحون . الخ) .

-Cat. C : حمّام

-Cat. D : دش (shower)

إنّ الفرضيات التي فرضت لكل نموذج هي كما يلي:

1-معدل التدفق الرئيسي .

2-مدة الحمل الواحد ،

3-عدد مرّات الحدوث incidences(الأحمال) في اليوم inc/day و

4-الانحراف deviation القياسي لمعدلات التدفق المختلفة σ .

من هذه الافتراضات ، تكون القيم متقاربة من أجل:

- الحجم الرئيسي لكل عملية استهلاك(سحب) draw-off،،
- الحجم الكلي في اليوم و
- مقدار الحجم المائي لكل نموذج .

يمكن استنتاج :

قيم بروفيل الحمل، من الحمل الرئيسي وهو 200 [l/d] ، مجدولة في الجدول (2.2.4).

الطاقة العظمى لكل استهلاك :

14 [l/min] * 10 [min] * 1.16 [Wh/kgK] * 35 K = 5680 [Wh].

الحاجة الحرارية العظمى المقترحة لـDIN 4708 هي: Q = 5820 [Wh]

هذه الحالات القياسية المختارة تعتمد على دراسات بحثية كثيرة حول DHW كنماذج استهلاك في سويسرا و ألمانيا .

الجدول (2.2.4) الفرضيات و الكميات المستمدة لكل بروفيل حمل بسحب أصغري خلال دقيقة واحدة

	نموذج A حمل قليل	نموذج B حمل متوسط	نموذج C حمام	نموذج D دوش	المجموع
[L/min]	1	6	14	8	
المدة [دقيقة]	1	1	10	5	

عدد مرات الحدوث	28	12	مرة بالأسبوع 0.143	2	
الانحراف δ القياسي	2	2	2	2	
فرضيات التوزيع (Derived assumptions)					
حجم الماء في الحمل [L]	1	6	140	40	
حجم الماء في اليوم [L]	28	72	20	80	200
متوسط حجم الماء	0.14	0.36	0.10	0.40	1

مثال:

الطاقة المطلوبة لتسخين مياه الاستخدام المنزلي DHW :

حجم خزان الحمام (Volume of bath tube) $V_{tub} = 0,15[m^3](150Liter)$

زمن الملء (Filling time:) $t = 0,2h(12\,\text{min.})$

الاستطاعة الحرارية النوعية للماء(Specific heat capacity water):

$$C_{p\,water} = 1,16[KWh / m^3 k]$$

درجة حرارة الماء البارد $T_o = 10[°C]$

درجة حرارة الماء الساخن $T_1 = 40[°C]$

التدفق الحجمي $\dot{V}_{BW} = V_{tnb} / t = 0.75[m^3 / h]$

الاستطاعة الحرارية لDHW :

$$\dot{Q}_{BW} = \dot{V}_{tnb} . C_{p\,water} . (T_1 - T_o) = 26[\mathrm{kW}]$$

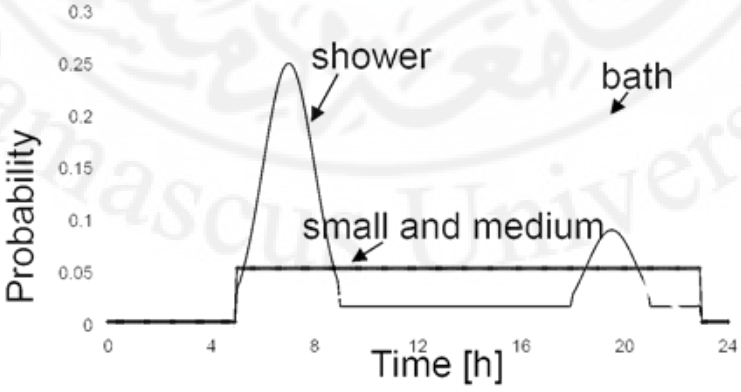
للفرضيات الموصوفة أعلاه فإنّ عدد مرّات التفريغ ومعدّل التدفق لكل حمل ثابت. كخطوة نهائية، تحتاج الحوادث لأن تكون موزّعة خلال السنة. يحدّد لكل نموذج تابع احتمالي يصف التغيرات لبروفيل الحمل خلال السنة (أيضاً يؤخذ بالحسبان زمن سطوع الشمس)، وخلال أيام الأسبوع ، وخلال اليوم. تستخدم طريقة التردد المتراكم(cumulated frequency method) لتوزيع الحوادث الموصوفة بالتابع الاحتمالي:

prob(year) = prob(season) * prob(weekday) * prob(day) * prob(holiday)

وضعت الفرضيات التالية من أجل مصطلحات التابع الاحتمالي:

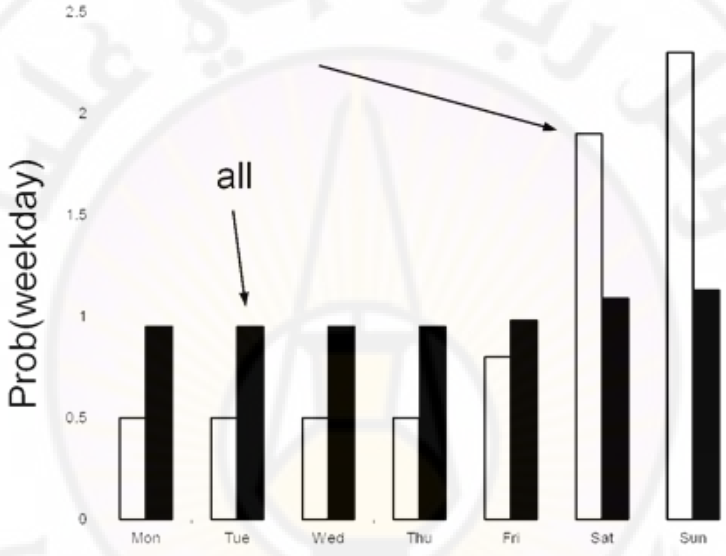
-مجموعة الاحتمالات خلال الفصول السنوية موصوفة بتابع جيبي بمتسع الذبذبة amplitude% 10 من حجم الاستهلاك اليومي الوسطي.

-الفرضيات المستخدمة من أجل التوزيع اليومي مبينة في الشكل(3.2.4).



الشكل (3.2.4) التوزيع الإحتمالي لحمل DHW خلال اليوم ،(prob(day . للاستهلاك القصير والمتوسط فإن التوزيع الاحتمالي للحمل يوزع بشكل موحد بين الساعة 5:00 و 23:00

-التابع الاحتمالي لأيام الأسبوع المختلفة من أجل الحمّام والتوزيع الرئيسي للحجم الكلي في اليوم مبين في الشكل (4.2.4). التوزيع الاحتمالي من أجل النماذج(A,B,D) متماثل لكل أيام الأسبوع، أمّا للنموذج C فليس كذلك.



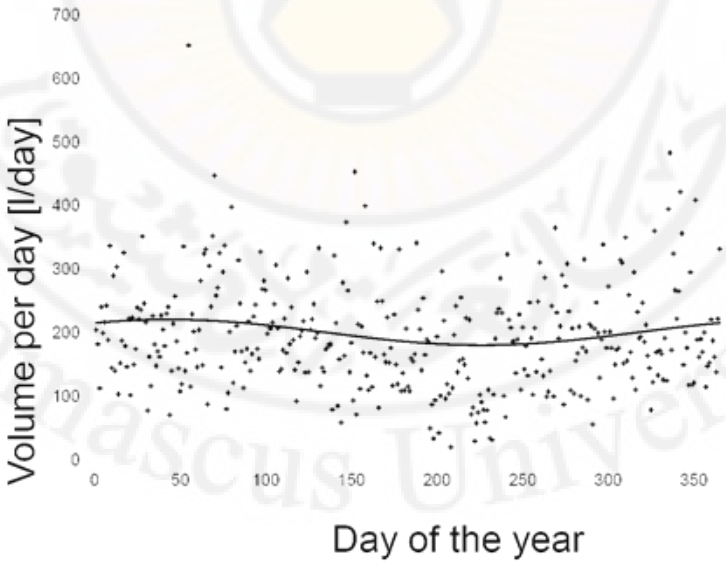
الشكل (4.2.4) تابع الاحتمال الأسبوعي(prob(weekday للنموذج 3 (حمام)، و القيمة المتوسطة للتوزيع الأسبوعي لكلّ النماذج.

-**أيام العطل** Holidays : في الفترة حوالي أسبوعين مابين الأول من حزيران ونهاية أيلول لا يوجد استهلاك للمياه الساخنة DHW ويُؤخذ الحمل [l/day] 100 لكل يوم. إنّ بداية العطلة تُعطى من قبل عدد عشوائي(Random number) . إنّ تهيئة مُولّد العدد العشوائي تُحل بالطريقة التي تُعطى العطل لعائلة واحدة بحمولة [l/day] 100 . من أجل بروفيل لحمل يومي اسمي [l/day]200 لعائلة واحدة في [Task 26]، يخفّض حمل المياه الساخنة (DHW) [l/day] 100 في فترتين، مدّة كلّ من الفترتين يكون أسبوعين أيضاً، تبدأ من 14تموز و 8 آب على التوالي. في البيوت المتعددة العائلات فإنّ عدد تخفيض حملDHW في تلك الفترات يعطى بحجم الحمل

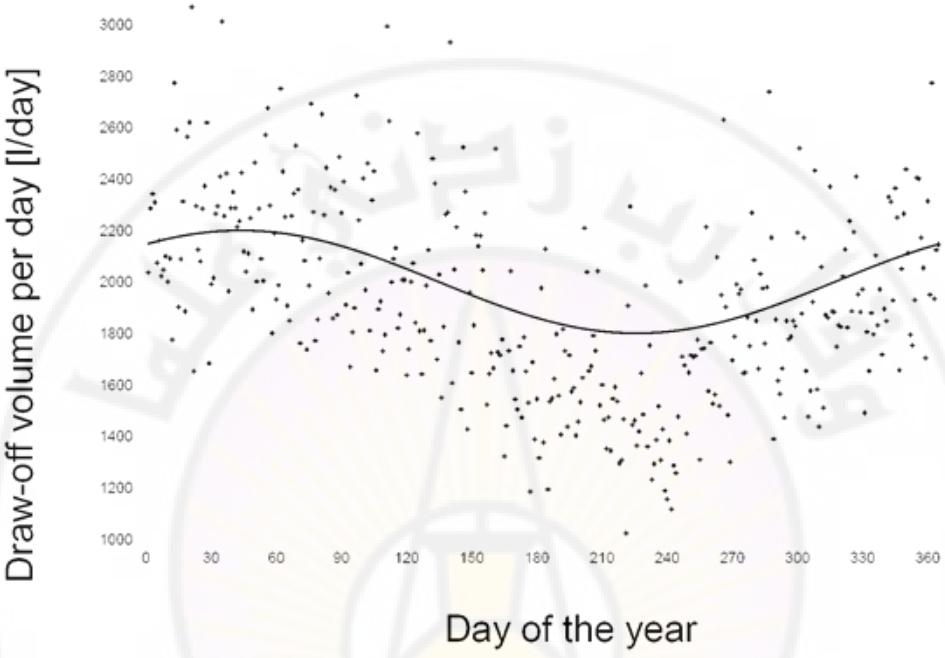
اليومي الوسطي مقسّماً ب[l/day] 100 . لذلك، يؤخذ بعين الاعتبار لبيت متعدد العائلات يكون الحمل وسطياً [l/day] 1000 ، و 10 أشخاص.

التوزيع الإجمالي للطاقة ضروري من أجل التزوّد بالمياه الساخنة DHW سنوياً، وجد ((Mack et al. (1998) أنّ التغيّر ± 25% على شكل تابع جيبي. وأنّ هذه التغيرات تعود إلى التغيرات في درجة حرارة الماء البارد بحوالي 5K ± (14% ± من الطاقة المزودة)، وهذه التغيرات تعود إلى أيام العطل ± (3.8% من الطاقة المزودة)، وتعود إلى استهلاك القاطنين خلال الفصول المختلفة في السنة. هذه التغيرات تؤخذ بالاعتبار بالتابع الاحتمالي (الفصلي) و بالتابع الاحتمالي(العطلة).

توزيع حجم الاستهلاك لكل يوم على مدى سنة بحجم استهلاك يومي اسمي [l/day] 200 مبين بالشكل (5.2.4) من أجل بيت لعائلة واحدة وفي الشكل (6.2.4) لبيت متعدد العائلات. يستخدم التابع الجيبي لحساب الاحتمالية خلال السنة بمتسع الذبذبة amplitude [l/day] 20 (10%) مبين بالخط الأسود على الشكل.



الشكل (5.2.4) منزل لعائلة واحدة: حجم السحب اليومي أثناء السنة (القيمة المتوسط 200 l/d)

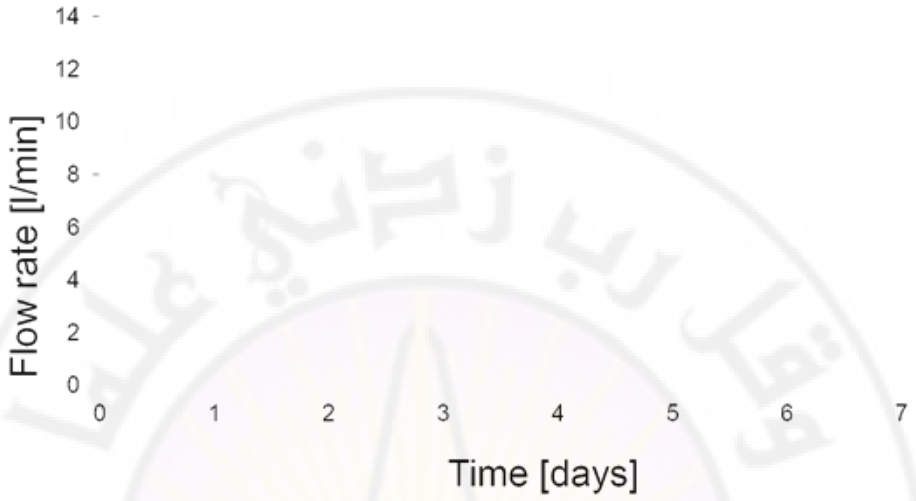


الشكل (6.2.4) منزل متعدد العائلات: حجم السحب اليومي أثناء السنة (القيمة المتوسط 200 l/d)

أظهرت الأبحاث أنّ تأثير بروفيل DHW هام لبروفيلات الأنظمة المركبة، خاصةً إذا كان مدّة ومعدّل تدفق استهلاك الDHW له تأثيرات عديدة على تطبق الطبقات في خزّان التخزين.

3.4 مخططات حمل DHW بمقياس زمني 6 min :

من أجل مخططات [min]6 تؤخذ بالحسبان عمليات الاستهلاك فقط ذات الفترات القصيرة [min] 6. هذا يعني، أنه يوجد نموذج واحد فقط من الأحمال محدّد من أجل مخططات [min] 6، يمثّل كل نماذج عمليات الاستهلاك (استهلاك متوسط ومنخفض، حمّام دوش أو حمّام عادي). مثال على ذلك مخط DHW لأسبوع واحد على التتابع كما في الشكل(1.3.4).



الشكل (1.3.4) مخطط DHW لمدة أسبوع واحد على مقياس 6 دقيقة.

الفرضيات الموضوعة من أجل مخطط 200 l/day تعطى بالجدول (1.3.4).

الجدول (1.3.4) الفرضيات وتقسيم الكميات من أجل بروفيل الحمل (السحب كل 6 دقائق)

نموذج واحد		
حجم الحمل الكلي	73.0002*	L/a
⇐ الحمل الوسطي	200	L/a
معدل التدفق الوسطي	8	L/min

معدل التدفق الأصغري	1	L/min
معدل التدفق الأعظمي(سحب وحيد)	15	L/min
معدل التدفق الأعظمي (موقع ممتاز)	23.9	L/min
⇐ الطاقة المطلوبة لسحب واحد	5.822**	Wh
معدلات تدفق للأقسام	0.1	L/min
مدة مل حمل	6	Min
الإنحراف القياسي δ	4	
العدد الكلي للسحب	1.521	a^{-1}

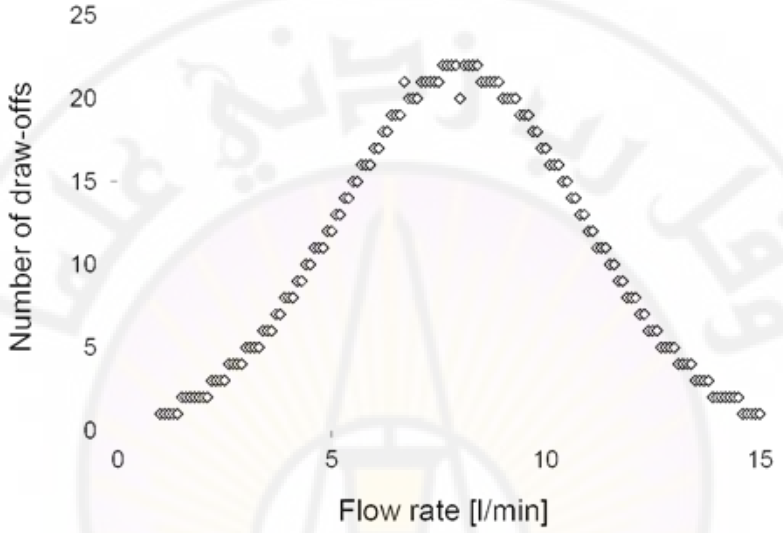
* بسبب التدفق المتقطع عند قيمة **[L/min]** 0.1، فإنّ القيم الممكنة للحجم السنوي تكون فقط **[1]** 0.6.

** الطاقة العظمى لاستهلاك واحد هي :

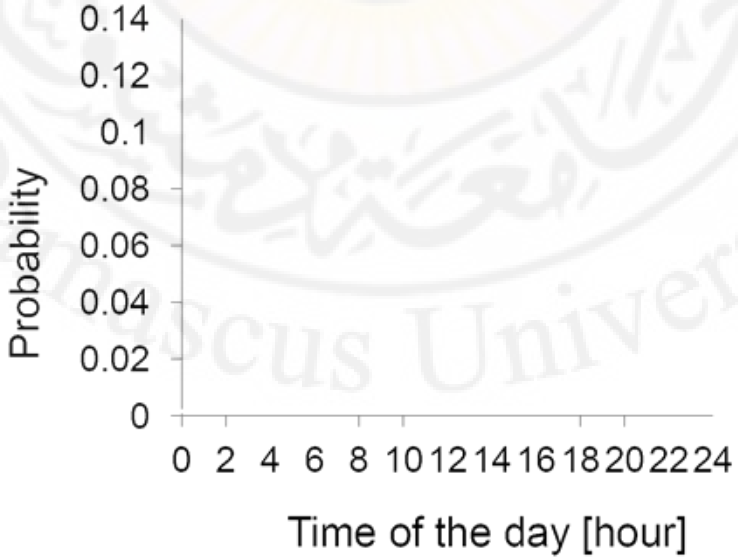
23.9 [L/min] * 1 [kg/L]* 6 [min] *1.16 [Wh/(kgK)] * 35 [°K] = 5822 [Wh]

⇐ Q = 5820 [Wh]: [DIN 4708] الحرارة المطلوبة الأعظمية المقترحة حسب

$$\dot{V}_{max} = 23.9[l / min]$$



الشكل(1.3.4) مخطط DHW على مقياس 6 دقائق: عدد مرات السحب كتابع لمعدل التدفق. الانحرافات عن تابع غوص تعود إلى التقسيمات من معدل التدفق.



الشكل (3.3.4) مخطط DHW على مقياس 6 دقائق: توزيع الاحتمالات خلال اليوم.

توزّع قيم معدلات التدفق حول قيمة رئيسية حسب توزيع غوص كما هو مبين في الشكل (2.3.4). تابع الاحتمالية يصف التغيرات في بروفيل الحمل خلال السنة (كما يأخذ بالاعتبار زمن سطوع الشمس)، التوزيع الأسبوعي واليومي يحدّد بالطريقة نفسها من أجل بروفيل ذي خطوة زمنية دقيقة واحدة. أيضاً مبدأ التوزيع الاحتمالي الشكل (3.3.4) اعتمد على العلاقات التي اختيرت من أجل بروفيل ذي خطوة زمنية دقيقة واحدة.

4.4 مخططات حمل DHW على مقياس ساعة:

أُنتجت مخططات حمل ال DHW لمقياس زمني ساعة واحدة بأخذ القيم الرئيسية الساعية من مخططات ذات 6 دقائق. والغرض من هذا العمل من أجل إجراء المحاكاة لأنظمة تدفئة شمسية كبيرة بخطوة زمنية ساعة واحدة. بسبب حقيقة أن معدل. التدفق يصبح صغيراً جداً عندما تحسب قيم متوسطة، فهم في الواقع قد لايسجلون معدلات تدفق واقعية. على أية حال فإن تأثير التغير في استهلاك ال DHW يصبح صغيراً مع زيادة الحمل الكلي.

5.4. ملاحظات نهائية:

تأثير مخطط DHW على أداء النظام السنوي لنظام مركب شمسي يعتمدُ على تصميم النظام. يميلُ الأداءُ الحراري إلى أن يكون مبالغاً في تقديره إذا استخدمت مخططات حمل مُبسّطة برقم ثابت من الاستهلاك يومياً أو أن مدة الاستهلاك كانت طويلة نسبياً. على أية حال، يمكن أنْ تهمل الاختلافات في الأداء لعدد كبير من تصاميم النظام. على سبيل المثال ، الأنظمة المركبة مع مبادلات حرارية على شكل وشيعة داخلية تقليدية لتحضير الماء الحار المحلي يبين اختلافات صغيرة فقط في أداء النظام عندما يُطبّق بروفيل 1 min، يمكن إجراء مقارنة مع المخططات المُبسّطة. من الناحية الأخرى، اختلافات هامّة بحدود 3.5 % نقطة منْ مدّخرات الطاقة الجزئية $f_{sav,ext}$، وُجد في محاكاة نظام لوحدات التفريغ التي تستعمل الثيرموسيفون كالقوة الدافعة، يمكن إجراء مقارنة نتائج المحاكاة هذه مع مخططات استهلاك مُبسّطة وكذلك مع مخططات استهلاك 1min. عند استخدام المبادلات الحرارية في

الخزان فإن التطبّق الحراري في الخزان يعتمد بشكل ملحوظ على ديناميكية مخططاتDHW . في هذه الحالة، يجب أن تطبق مخططات min 1. ولذلك، لا يمكن أن تعطى توصيات عامة حول بروفيل DHW الذي يجب استعماله. على أية حال، يمكن أن يُوصى باستعمال مخططات بخطوات زمنية صغيرة إذا كان التطبّق الحراري في الخزّان يتأثر بشكل كبير بديناميكية بروفيل DHW وإذا كان التركيز الرئيسي المأخوذ في تصميم وحدات الشحن والتفريغ في خزان التخزين. علاوة على ذلك، يجب أن تطبق مخططاتmin 1 لتحقيق حجم الخزن المسخن من قبل نظام الطاقة المساعدة.

الفصل الخامس

تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الفعالة ونمذجتها

Design and Simulation of Solar Active Systems

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الفعالة ونمذجتها

1.5. مقدمة:

إن إيجاد الحجم الملائم والمناسب لعناصر النظام الطاقي الشمسي مسألة معقدة تتكون من قسمين إحدهما يمكن التنبؤ به ومعرفته (المجمع والعناصر الأخرى المعروفة) والآخر لا يمكن التنبؤ به (بيانات الطقس). في هذا الفصل سنذكر طرائق تصميم متعددة كما سيتم عرضها بتقنية المحاكاة والبرامج الخاصة بأنظمة التبريد والتسخين الشمسي ، كما سيتم عرض موجز لطرائق الذكاء الصنعي وتطبيقاته في أنظمة الطاقة الشمسية.

هذه الطرائق تتضمن طريقة (f –chart) و طريقة الفائدة ϕ وطريقة ($\bar{\phi}$،f–chart). تعتمد طريقة (f – chart) على الارتباط بين أكبر عدد من طرائق المحاكاة من ناحية الكميات المتغيرة اللابعدية المحسوبة. تُستخدم طريقة الفائدة ϕ عندما تكون درجة الحرارة العاملة في المجمع معلومة أو يمكن تخمينها عند مستويات الإشعاع الحرج. تعتمد طريقة الفائدة على تحليل بيانات الطقس في كل ساعة للحصول على حصة من الإشعاع الشهري الكلي التي تكون أعلى من مستوى الإشعاع الحرج. إن طريقة ($\bar{\phi}$ ،f–chart) عبارة عن دمج طريقتي f –chart وطريقة الفائدة ϕ حيث تستخدم هذه الطريقة في الأنظمة عندما تكون الطاقة المزودة إلى الحمل أعلى من درجة الحرارة المفيدة الصغرى وبالتالي درجة الحرارة المزودة من هذه الطاقة ليس لها أي تأثير في نظام الحمل طالما أنها أكبر من درجة الحرارة الصغرى.

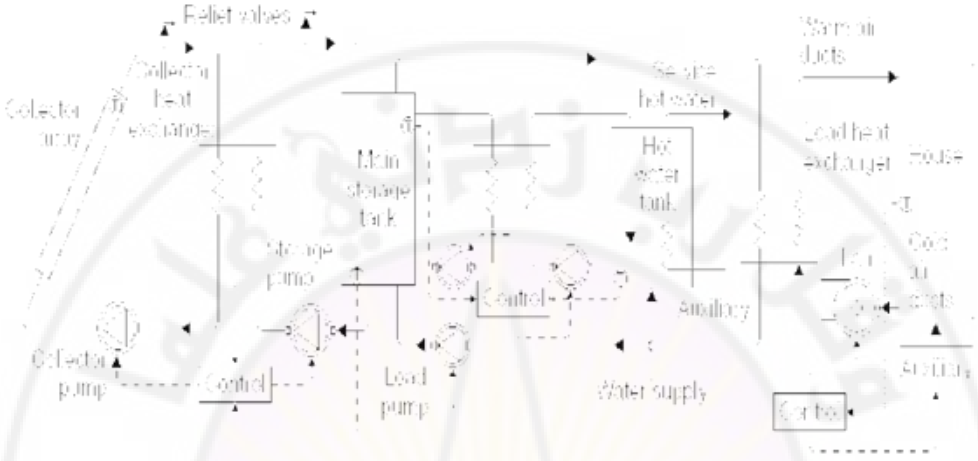
2.5. طريقة (f –chart) وبرنامجها:

تستخدم هذه الطريقة في تقدير الأداء الحراري السنوي لأنظمة تدفئة البناء باستخدام المائع العامل والذي يكون إما سائلاً أو هواء عندما تكون درجة الحرارة الصغرى المزودة للحمل حوالي [°C] 20. إن تكوين الأنظمة التي تُقيّم بوساطة طريقة (f –chart) شائعة الاستخدام في التطبيقات السكنية. حيث أن في طريقة (f –chart) نجد أننا نستطيع تقدير قسم من الحمل الحراري الكلي الذي زُوّد بواسطة النظام الطاقي الشمسي. لنرمز لثمن الطاقة المأخوذة من نظام الوقود فقط أو الطاقة المطلوبة لتغطية الحمل بالرمز L وللطاقة المساعدة للنظام الشمسي بـ L_{AUX} وللطاقة الشمسية الواصلة بـ Q_S للنظام الطاقي الشمسي $L = L_{AUX} + Q_S$.

نلاحظ في شهر i ، تناقص ثمن الطاقة المشتراة عند استخدام النظام الطاقي الشمسي وهذا ما يسمى الحصة الشمسية والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$f = \frac{L_i - L_{AUX,i}}{L_i} = \frac{Q_{s,i}}{L_i}$$

طوّر Klein و Beckman (1977) طريقة (f –chart). في هذه الطريقة نجد تنوعاً في التصميم الابتدائي الذي هو عبارة عن مساحة المجمع بينما الاختلافات الثانوية هي عبارة عن سعة التخزين، نوع المجمع، الحمل وحجم المبادل الحراري، ومعدل تدفق السائل. هذه الطريقة هي عبارة عن ارتباط بين مئات النتائج لمحاكاة الأداء الحراري للأنظمة الحرارية الشمسية المطبقة مع TRNSYS، حيث أن شروط المحاكاة هذه متنوعة بمجالات محددة من بارامترات تصاميم الأنظمة الفعّالة المفيدة الموضحة بالجدول (1.5). هذه النتائج المرتبطة تُعطي f أي هي الحصة من الحمل الحراري الشهري المزود بوساطة الطاقة الشمسية وتُعد كعامل لأحد البارامترين اللابعديين، الأول له علاقة بنسبة الضياعات في المجمع إلى الحمل الحراري، والثاني له علاقة بنسبة الإشعاع الشمسي الممتص إلى الحمل الحراري. يتضمن الحمل الحراري قسمان: حمل التدفئة وحمل مياه الاستخدام الساخنة. طُورت طريقة (f –chart) لتكوين ثلاثة أنظمة قياسية: الأنظمة السائلة والهوائية لتسخين الماء وتدفئة الفراغ، وأنظمة لتسخين مياه الاستخدام.



الشكل (1.2.5) مخطط لنظام التدفئة وتسخين المياه مع مضاد تجمد

الجدول (1.2.5) مجال القيم التصميمية المستخدمة في تطوير f- chart للأنظمة السائلة والهوائية (Klein 1976-).

البارامتر	المجال
$(\tau\alpha)_n$	0.6-0.9
$F_R' A_C$	5- 120m^2
U_L	2.1-8.3[$W/m^2°C$]
β (ميل اللاقط على الأفق)	30-90°
$(UA)_h$	83.3-666.6[$W/°C$]

يمكن إيجاد علاقة الارتباط على أساس شهري، بين العامل **f** والمجموعتين اللابعديتين المذكورتين فيما سبق كالآتي:

$$X = \frac{A_c F_R' U_L}{L} \int_{\Delta t} (T_{ref} - \overline{T}_a) dt = \frac{A_c F_R' U_L}{L} (T_{ref} - \overline{T}_a) \Delta t \qquad (1.2.5)$$

$$Y = \frac{A_c F_R'}{L} \int_{\Delta t} H_t (\tau\alpha) dt = \frac{A_c F_R'}{L} \overline{H}_t (\overline{\tau\alpha}) N \qquad (2.2.5)$$

$$0 < Y < 3 \ , \ 0 < X < 18$$

حيث:

X : وتعبر عن نسبة الطاقة المفقودة من المجمع عند درجة الحرارة المرجعية إلى حمل التسخين.

Y : نسبة الطاقة الشمسية الممتصة الى حمل التسخين.

إن قيمة X تعتمد على مدى كفاءة تصميم المجمع، أما قيمة Y فتعتمد على موقع استخدام المجمع ومقدار الطاقة الشمسية الواردة اليه .

L: إجمالي حمل التسخين الشهري المطلوب [MJ/mounth] .

N: عدد أيام الشهر.

$\overline{T}_a$: المتوسط الشهري لدرجات الحرارة الخارجية [°C]، (نحصل عليه من سجلات الأرصاد الجوية للشهر والموقع المطلوب).

$\overline{H}_t$: المعدل الشهري للإشعاع الكلي اليومي على سطح المجمع المائل [MJ/m^2].

A_c : مساحة المجمعات [m^2] .

Δt : عدد الثواني في الشهر .

T_{REF} : درجة الحرارة المرجعية وتؤخذ مساوية لـ [°C] 100.

U_L : معامل الفقد الحراري الكلي للاقط $[W / m^2.°C]$.

F_R : معامل نقل الحرارة .

$(\tau\alpha)_n$: حاصل ضرب نفاذية أغطية المجمع وامتصاصية اللوح الماص للأشعة الشمسية الساقطة عمودياً على سطح المجمع .

يمكن أن تعاد صياغة قيم البارامترين اللابعديين X,Y في المعادلتين (1.2.5) و(2.2.5) لتكون التالي:

$$X = F_R U_L \frac{F_R'}{F_R}(T_{ref} - \bar{T}_a)\Delta t \frac{A_c}{L} \qquad (3.2.5)$$

$$Y = F_R(\tau\alpha)_n \frac{F_R'}{F_R}\left[\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}\right]\bar{H}_t N \frac{A_c}{L} \qquad (4.2.5)$$

إن إعادة تنظيم هاتين المعادلتين سببه أن المعاملين $F_R U_L$ و $F_R(\tau\alpha)_n$ يمكن إيجادهم عند إجراء اختبارات المجمع القياسي .

تستخدم النسبة F'_R/F_R لتصحيح أداء المجمع لأن المبادل الحراري يجعل منطقة المجمع من النظام يعمل عند درجة حرارة أعلى من النظام المشابه له ولكن دون وجود المبادل الحراري وهذا يُعطى بالمعادلة (5.2.5) .

$$\frac{F_R'}{F_R} = \left\{1 + \frac{A_c F_R U_L}{(\dot{m}c_p)_c}\left[\frac{(\dot{m}c_p)_c}{\varepsilon(\dot{m}c_p)\min} - 1\right]\right\}^{-1} \qquad (5.2.5)$$

في حال صعوبة حساب هذه النسبة يمكن اعتبارها مساوية لـ 0.95 (أما في حال عدم وجود المبادل الحراري تكون مساوية للواحد) .

$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$: التصحيح في قيمة $(\tau\alpha)$ والناتج عن تغير زاوية ورود الأشعة الشمسية على سطح المجمع . للتوجيه المُعطى للمجمع فإن قيمة المعامل $\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$ تختلف بشكل طفيف بين شهر وآخر . في المجمعات المائلة والموجهة باتجاه خط الاستواء مع انحراف يساوي إلى 15° زيادة في خط العرض، وجد Klein (1976) أن هذا المعامل يساوي إلى 0.96 للمجمع ذي الغطاء الشفاف الواحد و 0.94 للمجمع ذي الغطائين وذلك لكامل أشهر التسخين في فصل الشتاء.

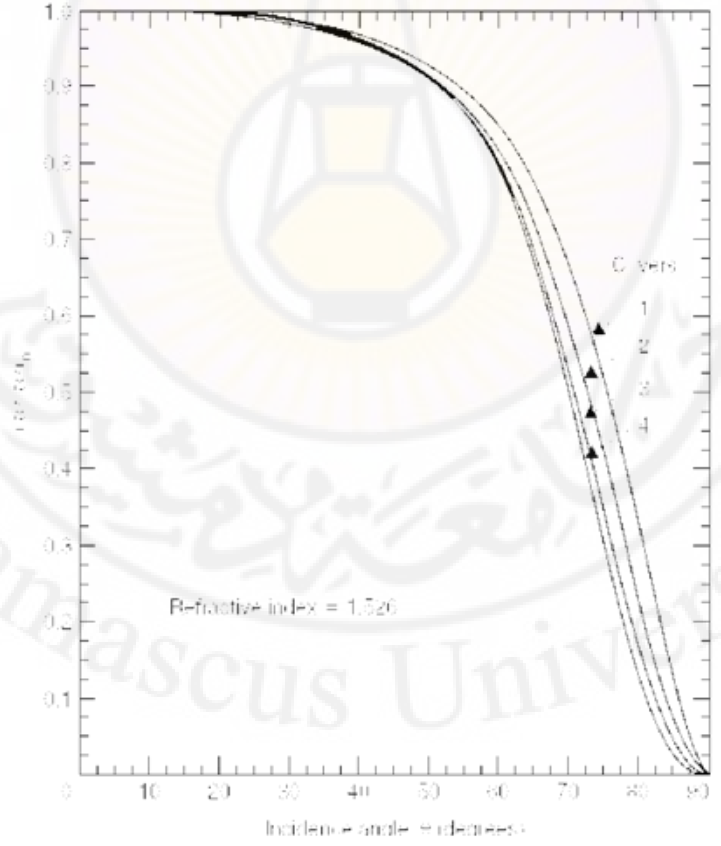
باستخدام التعريف السابق لـ $(\overline{\tau\alpha})$ نحصل على:

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = \frac{\bar{S}}{\bar{H}_t(\tau\alpha)_n} \qquad (6.2.5)$$

باستبدال قيمة $\bar{S}$ في المعادلة (6.5) نجد أن:

$$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = \frac{\bar{H}_B \bar{R}_B (\overline{\tau\alpha})_B}{\bar{H}_t(\tau\alpha)_n} + \frac{\bar{H}_D (\overline{\tau\alpha})_D}{\bar{H}_t(\tau\alpha)_n}\left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right) + \frac{\bar{H}_{rG}(\overline{\tau\alpha})_G}{\bar{H}_t(\tau\alpha)_n}\left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right) \qquad (7.2.5)$$

يمكن الحصول على النسبة $\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$ من الشكل (2.2.5).



الشكل(2.2.5) العلاقة بين $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ وزاوية الورود θ حسب عدد الأغطية الشفافة

للبارامترين اللابعديين X,Y أهمية فيزيائية حيث يمثل البارامتر X نسبة الطاقة الضائعة من لاقط مرجعي إلى الحمل الحراري الكلي المطلوب (L) خلال الفترة Δt ، كما أن البارامتر Y يمثل نسبة الطاقة الشمسية الممتصة الكلية إلى الحمل الحراري الكلي المطلوب(L) خلال الفترة نفسها.

كما سنرى في المقاطع التالية فإن قيم X ,Y تستخدم لتحديد f_i (النسبة الشهرية من الحمل التي يمكن تغطيتها بالطاقة الشمسية). إن مساهمة الطاقة خلال شهر تغطي f_i من أحمال التدفئة الشهرية و الماء الساخن Li . نسبة حمل التدفئة السنوي المزود بالطاقة الشمسية تساوي مجموع مساهمة الطاقة الشمسية الشهرية على الحمل السنوي ويعطى بالشكل:

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \qquad (8.2.5)$$

نستطيع استخدام هذه الطريقة لنمذجة الأنظمة التي يكون فيها العامل الناقل للحرارة (هواء أو ماء).

مثال(1.2.5):

يركب نظام تسخين طاقي شمسي قياسي في منطقة يكون فيها معدل الإشعاع الكلي اليومي على سطح المجمع المائل [$12.5[MJ/m^2$ ، معدل درجة الحرارة المحيطة [°C] 10.1 . هذا النظام يستخدم مجمعاً ذا مساحة قدرها [$35[m^2$ وله المعاملات , $F_R(\tau\alpha)_n$=0.78 F_RU_L=5.56 [W/m^2.°C]

حُددت هذه القيم من اختبارات المجمع القياسي. اذا كانت قيمة حمل تدفئة المكان وحمل الماء الساخن [GJ] 35.2، معدل التدفق في المجمع يساوي معدل التدفق المستخدم في اختبار المجمع، F'_R/F_R=0.98 ، $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ =0.96 لكل الأشهر. حدد البارمترين X, Y .

الحل:

باستخدام المعادلتين (3.2.5) و (4.2.5) حيث أن ΔT تقدر بالثواني في الشهر الواحد، أي تساوي إلى $31\mathrm{d}\times 24h\times 3600\ [sec/h]$ ، نجد أن:

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R}(T_{ref} - \bar{T}_a)\Delta t \frac{A_c}{L}$$

$$= 5.56 \times 0.98(100 - 10.1) \times 31 \times 24 \times 3600 \times \frac{35}{35.2 \times 10^9}$$

$$= 1.30$$

$$Y = F_R(\tau\alpha)\frac{F'_R}{F_R}\left[\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}\right]\bar{H}_t N \frac{A_c}{L}$$

$$= 0.78 \times 0.98 \times 0.96 \times 12.5 \times 10^6 \times 31 \times \frac{35}{35.2 \times 10^9}$$

$$= 0.28$$

مثال(2.2.5):

نظام تدفئة شمسي يصمم من أجل منطقة Madison وخط عرض 43°N باستخدام مجمع وحيد الغطاء حيث $F_R U_L = 4W/[m^2 °C]$ ، $F_R(\tau\alpha)_n = 0.74$ تحدد من اختبارات المجمع القياسي. معدل التدفق المستخدم هنا مشابه لمعدل التدفق في الاختبارات . المجمع موجه للشمال مع ميل قدره 60° عن الأفق. متوسط الأشعة اليومية الساقطة على سطح مائل 60° من أجل كانون الثاني لـ Madison يكون 11.9 [MJ/m^2] ومتوسط الحرارة الخارجية (الوسط المحيط) تكون [°C](7−)، حمل التدفئة هو 36[GJ] من أجل تدفئة الفراغ و تسخين الماء. معامل التصحيح للمبادل الحراري للمجمع $F'_R / F_R = 0.97$. من أجل جميع الأشهر نسبة المتوسط الشهري إلى الحالة الطبيعية لمعامل الامتصاص و النفوذية $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ تؤخذ عادة 0.96 من أجل غطاء واحد للمجمع. احسب X , Y من أجل هذه الشروط لأجل مجمع مساحته 25[m^2] ثم من أجل مساحة 50[m^2] .

الحل:

من العلاقة (11.8) و (11.9) مع مساحة [A_C=25[m^2]

$$X = (4.0)0.97[100-(-7)](31\times 86.400)/(36.0\times 10^9) = 0.77$$
$$Y = 0.74\times 0.97\times 0.96(11.9\times 10^6)31(25)/(36.0\times 10^9) = 0.18$$

من أجل مساحة $50[m^2]$ قيم X,Y بطريقة التناسب تكون :

$$X = 0.77\times 50/25 = 1.54$$
$$Y = 0.18\times 50/25 = 0.35$$

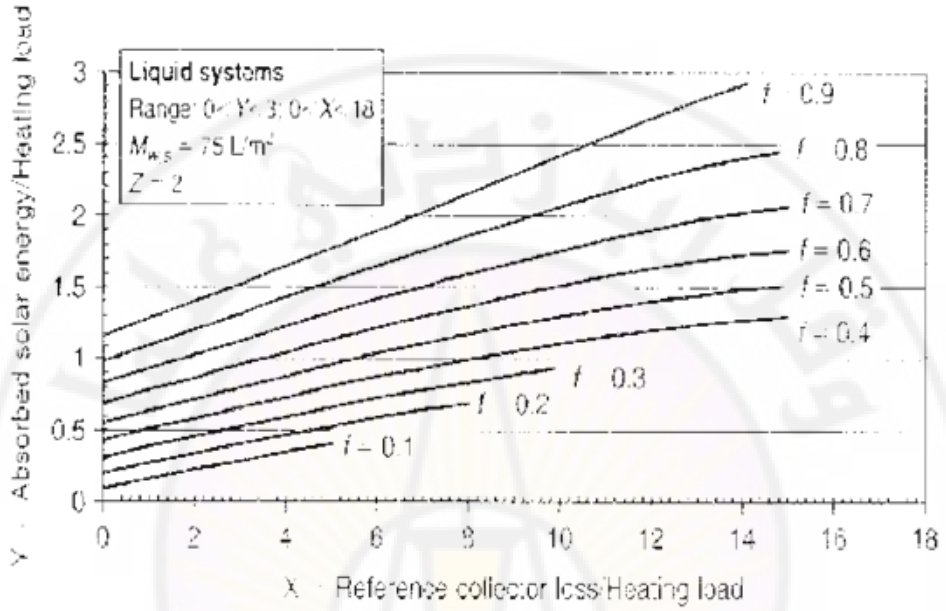
1.2.5. أداء أنظمة التسخين الشمسية السائلة وتصميمها:

يمكننا معرفة الأداء الحراري للنظام من تصميم أفضل نظام تسخين شمسي واختياره. طوّرت طريقة (f –chart) لهذه الأنظمة من أجل النظام الطاقي الشمسي القياسي السائل، والمبينة بالشكل (1.2.5). يستخدم طريقة منع التجمد في دارة المجمع فيمنع تجمد الماء المستخدم كوسيط تخزين. يستعمل مبادل حراري (ماء إلى ماء) لنقل الحرارة من الخزان الحراري إلى نظام المياه الساخنة المنزلية(DHW).

إن الحصة f من الحمل الكلي الشهري المزوّد بواسطة النظام الطاقي الشمسي القياسي الذي يعتمد السائل كوسيط تشغيل يُعطى كعامل مؤلف من بارامترين لابعديين X , Y ويمكن أن نحصل عليهما من مخطط f في الشكل (3.2.5) أو من المعادلة (9.2.5) (Klein 1976):

$$f = 1.029y - 0.065x - 0.245y^2 + 0.0018x^2 + 0.0215y^3 \qquad (9.2.5)$$

إن تطبيق المعادلة (9.2.5) أو الشكل (3.2.5) يسمح لنا بتقدير الحصة الشمسية بسهولة على أساس شهري كمعامل لتصميم النظام ومعامل لشروط الجو المحلية.



الشكل(3.2.5) مخطط f لأنظمة التسخين الشمسي السائلة

يمكن الحصول على القيمة السنوية بجمع القيم الشهرية بالمعادلة(8.2.5) لتحديد مساحة المجمع المثالية الاقتصادية، حيث أنه يطلب إيجاد الكسر الحملي السنوي الموافق لمساحات مختلفة من المجمع . لذلك فإن استخدام الطريقة المذكورة سابقاً يمكن استخدامها بسهولة لتقدير تلك الكميات.

مثال(3.2.5):

إذا كان نظام التسخين الشمسي المعطى في المثال (1.2.5) هو نظام سائل، قدّر الحصة الشمسية السنوية إذا كان المجمع متوضعاً في منطقة ذات معدل شهري لشروط الطقس والتدفئة الشهرية وأحمال المياه الساخنة مبينة في الجدول (2.2.5).

الحل:

الجدول (2.2.5): المعدلات الشهرية لشروط الطقس وأحمال التدفئة والمياه الساخنة:

	$\overline{T_a}$ [°C]	$\overline{H}_T$ $[MJ/m^2.day]$	L [GJ]
كانون2	10.1	12.5	35.2
شباط	13.5	15.6	31.1
آذار	15.8	17.8	20.7
نيسان	19.0	20.2	13.2
أيار	21.5	21.5	5.6
حزيران	29.8	22.5	4.1
تموز	32.1	23.1	2.9
آب	30.5	22.4	3.5
أيلول	22.5	21.1	5.1
تشرين1	19.2	18.2	12.7
تشرين2	16.2	15.2	23.6
كانون1	11.1	13.1	33.1

إن قيمة البارامترين اللابعديين X و Y الموجودة في المثال (1) تساوي إلى 1.30 و 0.28 على الترتيب، وذلك من شروط الطقس والأحمال المبينة في الجدول (2.2.5) والمطابقة لشهر كانون الثاني . من الشكل (2.2.5) أو من المعادلة(9.2.5) نجد أن f=0.188. الحمل الكلي في كانون الثاني[GJ] 35.2 ، لذلك تكون المساهمة الشمسية في كانون الثاني:

$$f.L = 0.188 \times 35.2 = 6.62[GJ]$$

نعيد الحسابات نفسها لكل شهر كما هو مبين في الجدول (3.2.5) .

يجب ملاحظة أن قيم f الظاهرة بالخط الغامق تعد خارج نطاق تصحيح f-chart ويستخدم الحصة من 100%، حيث أنه على مدار تلك الأشهر يقوم النظام الطاقي الشمسي بتغطية الحمل بشكل كامل. من المعادلة (8.2.5) نجد أن الحصة السنوية للحمل المزود بواسطة النظام الطاقي الشمسي يكون :

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} = \frac{79.38}{190.8} = 0.416 \qquad or\ 41.6\%$$

الجدول (3.2.5) الحسابات الشهرية للمثال (3.2.5):

f.L	F	Y	X	$I.[GJ]$	$\bar{H}_T\left[MJ\ m^{-}\right]$	$\left[^{\circ}C\right]$	
6.62	0.188	0.28	1.3	35.2	12.5	10.1	كانون 2
8.05	0.259	0.36	1.28	31.1	15.6	13.5	شباط
9.65	0.466	0.68	2.08	20.7	17.8	15.8	آذار
9.61	0.728	1.18	3.03	13.2	20.2	19.0	نيسان
5.6	1	3.06	7.16	5.6	21.5	21.5	أيار
4.1	1	4.23	8.46	4.1	22.5	29.8	حزيران
2.9	1	6.34	11.96	2.9	23.1	32.1	تموز
3.5	1	5.10	10.14	3.5	22.4	30.5	آب
5.1	1	3.19	7.52	5.1	21.1	22.5	أيلول
8.81	0.694	1.14	3.25	12.7	18.2	19.2	تشرين1
8.19	0.347	0.50	1.76	23.6	15.2	16.2	تشرين2

كانون1	11.1	13.1	33.1	1.37	0.32	0.219	7.25
المجموع			190.8	المساهمة الكلية			79.38

كما يحسب المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح مائل بالعلاقة :

$$\bar{H}_T = \bar{R}.\bar{H}$$

$$= \bar{R}_b.\bar{H}_b + \bar{H}_d\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \bar{H}\rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \qquad (10.2.5)$$

حيث: $\bar{R}$: النسبة بين المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح مائل إلى ذلك الساقط على سطح أفقي وتعطى بالعلاقة:

$$\bar{R} = \left(1-\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)\bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\left(\frac{1+cos\,\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-cos\,\beta}{2}\right) \qquad (11.2.5)$$

إن الحد الأول من المعادلة (11.2.5) ينتج من الإشعاع المباشر والثاني من الإشعاع المنتشر والثالث من الإشعاع المنعكس عن الأرض على فرض أن الإشعاع المنتشر والمنعكس من الأرض (Isotropic).

حيث: $\bar{H}_d$: المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المنتشر الساقط على سطح مائل $\left[MJ/m^2.day\right]$.

$\bar{H}$: المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح أفقي $\left[MJ/m^2.day\right]$.

β : زاوية ميل السطح المائل على الأفق .

ρ : انعكاسية الأرض (قيمتها حوالي 0.2 وتزيد الى 0.7 اذا كان سطح الأرض مغطى بالجليد).

$\bar{R}_b$: نسبة المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المباشر الساقط على السطح المائل الى نظيره الساقط على سطح أفقي.

في الواقع $\overline{R_b}$ تابع تماماً لنفوذية الغلاف الجوي، ولكن تبعاً لـ [Liu&Jordan1977] يمكن أن يخمن كنسبة للإشعاع خارج الغلاف الجوي على سطح مائل إلى مثله على سطح أفقي. بالنسبة لسطح موجه نحو خط الاستواء تحسب $\overline{R_b}$ بالطرق الحسابية كما في المعادلة (12.2.5):

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin(\omega_s')+(\pi/180)\omega_s'\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos(\phi)\cos\delta\sin(\omega_s)+(\pi/180)\omega_s\sin(\phi)\sin\delta} \qquad (12.2.5)$$

حيث:

ω_s : زاوية غروب الشمس على سطح أفقي

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan\phi\tan\delta]$$

ω_s' : زاوية غروب الشمس على سطح مائل.

$$\omega_s' = \min\left\{\omega_s, \cos^{-1}[-\tan(\phi-\beta)\tan\delta]\right\}$$

ويمكن أن يحسب بالطرق البيانية و ذلك باستعمال مخططات خاصة للعلاقة بين زاوية خط العرض ϕ والمعامل $\overline{R_b}$ وذلك عند لـ ($\phi - \beta$) كما في (الشكل 4.2.5). وعند ($\beta = \phi + 10°$) الشكل (5.2.5).

الشكل (4.2.5) قيم $\overline{R}_B$ من أجل ميل لاقط مساوي لزاوية خط العرض



الشكل (5.2.5) قيم $\bar{R}_B$ من أجل ميل لاقط مساوي لزاوية خط العرض+10°

حسب [Duffie&Beckman] توجد مخططات يمكن منها حساب $\overline{R_b}$ كتابع لـ ($\phi-\beta$) نورد هذه المخططات في الملحق الشكل(A.1)

يمكن حساب نسبة الإشعاع المنتشر الى الاشعاع الكلي $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$ عند موضع ما بمعرفة $\bar{K}_T$ عند هذا الموضع وذلك حسب إحدى العلاقات (13.2.5) :

Liu &Jordan [1977] وضعوا $\frac{H_D}{H}$ باستخدام معامل الوضوح $\bar{K}_T$:

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1.390 - 4.027\bar{K}_T + 5.531\bar{K}_T^2 - 3.108\bar{K}_T^3 \qquad (13a.2.5)$$

Collares-Pereira&Rabl[1979] وضعوا علاقة لحساب $\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}$ باستخدام زاوية غروب الشمس:

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 0.775 + 0.00653(\omega_s - 90)$$
$$-[0.505 + 0.00455(\omega_s - 90)]\cos(115\bar{K}_T - 103) \qquad (13b.2.5)$$

Erbs et al.(1982) أيضاً وضع علاقة لحساب $\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}$ كما يلي:

$$For\ \omega_s \le 81.4°, and\ 0.3 \le \bar{K}_T \le 0.8$$
$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = \left\{1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3\right\} \qquad (13c.2.5)$$

$$For\ \omega_s \rangle 81.4°, and\ 0.3 \le \bar{K}_T \le 0.8$$
$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = \left\{1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3\right\} \qquad (13d.2.5)$$

$\bar{K}_T$: معامل الوضوح (clearness index) وهو المتوسط الشهري للنسبة بين الإشعاع الشمسي الحقيقي إلى الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي كما هو واضح في العلاقة(14.2.5).

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \qquad (14.2.5)$$

حيث:

$\bar{H}$: المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الحقيقي على سطح أفقي،

$\bar{H}_o$: المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي خارج الغلاف اليومي.

كما يمكن الحصول مباشرة على قيمة كل من $\bar{H}_d$ و $\bar{H}$ وكذلك $\bar{T}_a$ لموضع ما من الموقع : http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/ وذلك بمعرفة إحداثيات الموضع (مثلاً: مدينة دمشق).

بعد حساب كلاً من $\bar{H}_T$, $\bar{H}_d$ يمكن حساب المركبة المباشرة $\bar{H}_b$

$$\bar{H}_b = \bar{H}_T - \bar{H}_d$$

نرتب القيم والنتائج في الجدول كالتالي:

	T_a [C]	$\bar{H}$ $[MJ/m^2.day]$	$\bar{H}_d$ $[MJ/m^2.day]$	$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$	$\bar{R}_b$	$\bar{R}$	$\bar{H}_T$ $[MJ/m^2.day]$	Q_{req} [W]
كانون2								
شباط								
آذار								
نيسان								
ايار								
حزيران								
تموز								
آب								
أيلول								
تشرين1								
تشرين2								
كانون1								
المجموع								

2.2.5. تعيين مساحة اللواقط المثلى حرارياً :

يتم حساب قيمة F_i لمساحات مختلفة، ويمكن إيجاد قيمة F التي تمثل تغطية الحمل وذلك عند كل قيمة مفترضة للمساحة A من خلال العلاقة (8.2.5) :

$$F = \frac{\sum(Li \times Fi)}{\sum Li}$$

وتعرف الطاقة الإنتاجية بأنها الطاقة المفيدة الناتجة من كل متر مربع من اللواقط و تعطى بالعلاقة (15.2.5):

$$P = \frac{\sum(Li \times Fi)}{A_c} \qquad (15.2.5)$$

حيث:

A_c : مساحة اللواقط.

معامل التغطية F والطاقة الإنتاجية P يتبعان لمساحة اللاقط ، حيث أن معامل التغطية يتزايد مع تزايد مساحة اللواقط إلى أن يصل قيمته العظمى $F=1$ عندما $A=A_{max}$ ، مما يدل على أن كل زيادة بعد ذلك على هذه المساحة هي خسارة حتمية من الناحية الحرارية .

و كي يكون النظام فعالا من الناحية الحرارية لا بد من تحقيق الشرطين التالين :

1. معامل تغطية مرتفع .
2. طاقة إنتاجية مرتفعة .

و تكون المساحة المحققة لهذين الشرطين ($A_{Optimal}$) موافقة للقيمة العظمى لجدائهما .

أي أن:

$$(F \times P)_{max} = A_{Optimal} \qquad (15.2.5)$$

و حتى يكون ($F.P$) أعظمياً لا بد من معرفة أنها تتعلق البارامترات التالية :

$F=f(X,Y)$ تتعلق بالبارامترين X, Y وكل منهما يتعلق بعدد من البارامترات: مساحة اللاقط ، الضياعات، الفواقد الإجمالية للواقط .

إن المفهوم الفيزيائي أو التقني لاختيار المساحة المثلى حراريا للواقط تقتضي أن يكون الجداء $F.P$ أعظميا عند المساحة المعينة. و هذا يعني أن تحقيق الأداء الحراري الأمثل لنظام تسخين المياه الشمسي المصمم لدينا عند المساحة المدروسة يتحقق عندما يكون جداء كفاءات ومراديد العناصر المكونة للنظام أعظميا عند المساحة السابقة.

ومن أجل كل مساحة للاقط الشمسي A_c نكتب جدولاً يشبه التالي:

	A_c [m^2]	L	X	Y	F	f.L	F	P	F.P
كانون 2									
شباط									
آذار									
نيسان									
أيار									
حزيران									
تموز									
أب									
أيلول									
تشرين1									
تشرين2									
كانون1									
المجموع									

من النتائج: يمكن رسم المخطط كما في الشكل (6.2.5) (الشكل يبين أحد الأمثلة):
على المحور X تعين كل قيم مساحة اللواقط المدروسة.

وعلى المحور Y نرسم قيمة F.P المقابلة لمساحة اللواقط المدروسة
ومن ثم نختار أعلى قيمة لها وعندها تكون المساحة المثلى للواقط المستخدمة.



الشكل (6.2.5) تحديد المساحة المثلى للواقط

A.2.2.5-تصحيح سعة التخزين:

تم تطوير طريقة f-chart لاستخدام القيم الاسمية المُصَحَحة لسعة التخزين لكل وحدة مساحة للمجمع، كما يجب ملاحظة معدل تدفق السائل في المجمع لكل وحدة مساحة له، وأيضاً حجم المبادل الحراري الحملي المرتبط بحمل تسخين المكان. لذلك من الضروري تطبيق عدة عمليات تصحيح لتكوين تلك الأنظمة التي نريد استخدامها.

أداء النظام السنوي يكون غير حساس نسبياً لقدرة التخزين طالما أن هذه القدرة تكون تقريباً أكبر من [L] 50 ماء لكل متر مربع من مساحة اللاقط. عندما تؤخذ تكاليف التخزين بعين الاعتبار، هناك مجال واسع في مدى [L/m^2] (200- 50) من مساحة المجمع.

طور مخطط F-chart لأجل قدرة تخزين [L/m^2]75 من الماء المخزن لكل [m^2]1 من مساحة المجمع كما في الشكل(3.2.5).

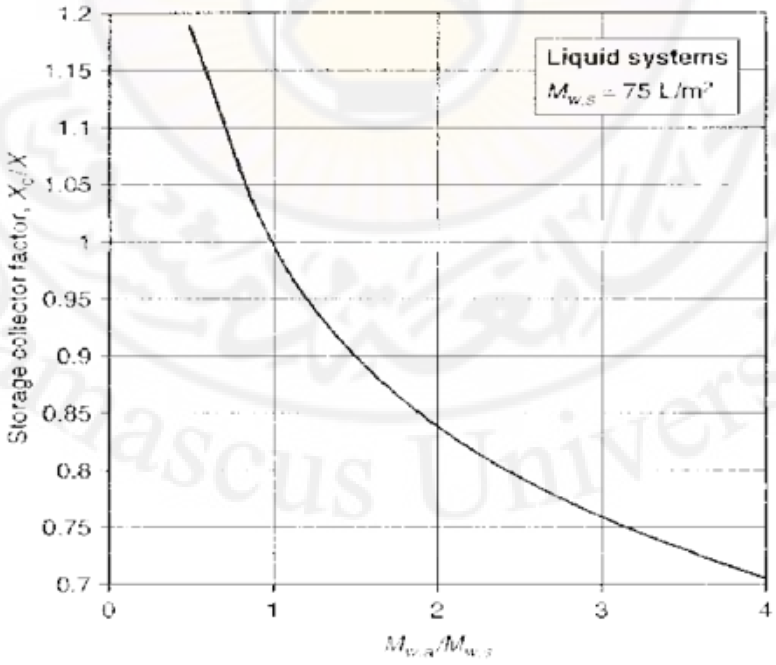
يمكن تحديد أداء الأنظمة مع قدرات تخزين في المجال [L/m^2] (37.5-300) بضرب المجموعة اللابعدية X بمعامل تصحيح حجم الخزان X_C/X الذي نستطيع إيجاده من المعادلة (17.2.5) و الذي يُعطى بواسطة (Beckman1977):

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{M_{w,a}}{M_{w,s}} \right)^{-0.25} \qquad (17.2.5)$$

حيث:

$M_{w,a}$: سعة التخزين الحقيقة لكل متر مربع من مساحة المجمع [L/m^2]

$M_{w,s}$: سعة التخزين القياسية لكل متر مربع من مساحة المجمع [L/m^2]



الشكل (7.2.5) معامل تصحيح الخزان للأنظمة السائلة

تطبق المعادلة (17.2.5) ضمن المجال $0.5 \le M_{w,a} / M_{w,s} \le 4.0$ أو المجال $37.5 \le M_{w,a} \le 300[L / m^2]$

ويمكن أيضا تحديد معامل تصحيح التخزين مباشرة من الشكل (7.2.5) والذي حصلنا عليه باستخدام المعادلة (17.2.5) في المجال المذكور.

مثال(4.2.5):

حدد قيمة الحصة الشمسية لشهر آذار من المثال (3) إذا كانت سعة الخزان $130[L / m^2]$.

الحل:

أولاً نحتاج تحديد قيمة معامل تصحيح التخزين باستخدام المعادلة (17.2.5):

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{M_{w,a}}{M_{w,s}}\right)^{-0.25} = \left(\frac{130}{75}\right)^{-0.25} = 0.87$$

من أجل شهر آذار، تصبح القيمة المصحّحة لـ X هي $X_C = 0.87 \times 2.08 = 1.81$.

وتبقى قيمة Y كما حددت من قبل، أي أن $Y = 0.68$. من مخطط f نجد أن $f = 0.481$ مقارنة بالقيمة 0.466 قبل عملية التصحيح ، حيث تزيد عنها بمقدار 2%.

B.2.2.5. تصحيح معدل التدفق في المجمع:

أُنشئ مخطط f كما في الشكل (3.2.5) حيث يستخدم المجمع مانعاً للتجمد والذي يكون فيه معدل التدفق $0.015\ [L/S.m^2]$. إن تخفيض معدل التدفق يمكن أن يُنقص من معدل الطاقة الملتقطة بشكل ملحوظ، خصوصاً إذا كان معدل التدفق المنخفض يؤدي إلى غليان السائل وإلى التخفيف من الضغط من خلال صمام إطلاق الضغط. بالرغم من أن إنتاج معدل التدفق

الكتلي والحرارة النوعية للسائل المتدفق عبر المجمع يؤثر بشكل كبير في أداء النظام الطاقي الشمسي، لكن القيمة المستخدمة نادراً ما تكون أقل من القيمة المستخدمة في مخطط f. بالإضافة إلى ذلك فإن معدل التدفق في المجمع خارج نطاق القيمة الاسمية له تأثير طفيف في أداء النظام، وبذلك يمكن تطبيق الشكل (3.2.5) لكافة معدلات التدفق الفعلية في المجمع.

C.2.2.5. تصحيح حجم المبادل الحراري:

يؤثر حجم المبادل الحراري بشكل كبير في أداء النظام الطاقي الشمسي. سبب ذلك أن معدل انتقال الحرارة عبر المبادل الحراري يؤثر بشكل مباشر في درجة حرارة الخزان والتي تؤثر في درجة حرارة مدخل المجمع. كلما صغر حجم المبادل الحراري المستخدم لتسخين هواء البناء زادت درجة الحرارة المطلوبة من الخزان لتأمين كمية الحرارة نفسها، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة مدخل اللاقط ويقلل من أداء اللاقط. لحساب حجم المبادل الحراري، يُحدد بارامتر لابعدي جديد Z مُعطى (Beckman 1977):

$$Z = \frac{\varepsilon_L (\dot{m}c_p)_{\min}}{(UA)_h} \qquad (18.2.5)$$

حيث:

ε_L فعالية المبادل الحراري ماء – هواء،

$C_{p,\min}$ السعة الحرارية الدنيا للسائل في المبادل الحراري وتكون في جهة الهواء من المبادل،

$(\dot{m}c_p)_{\min}$ [W/K] = القيمة الدنيا لجداء التدفق الكتلي بالسعة الحرارية للسائل في المبادل الحراري.

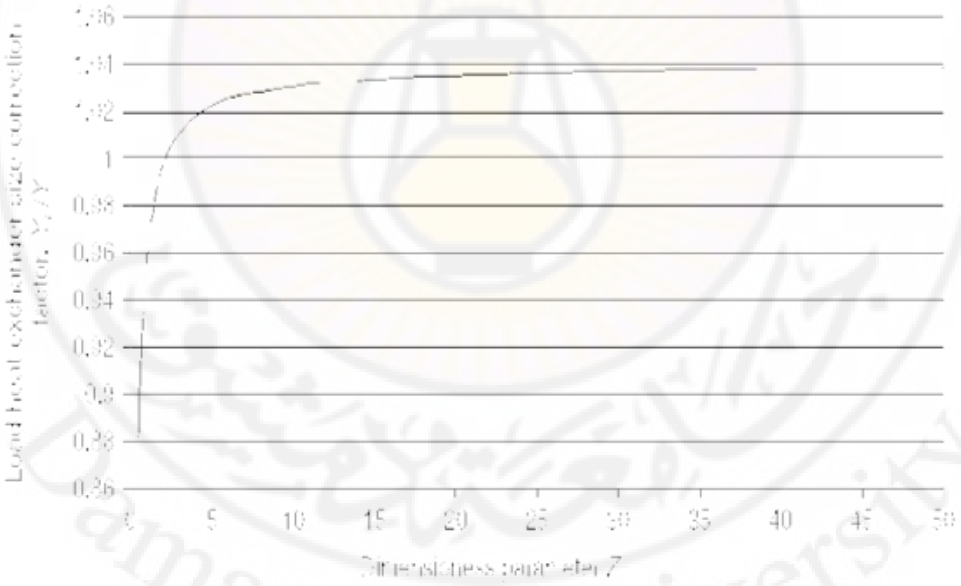
$(UA)_h$ [W/K] = معامل الضياع الحراري للمبنى مضروباً بمساحة المنطقة المدروسة مستخدمة طريقة (Degree-Day) درجة- يوم في حساب حمل تدفئة الفراغ.

ومن وجهة نظر حرارية فإن القيمة المثالية لـ Z تكون اللانهاية. يعتمد أداء النظام بشكل تقريبي على قيمة البارامتر Z : فمن أجل Z>10 ، يكون الأداء بشكل أساسي هو نفسه أداء النظام من أجل قيم لامتناهية في الكبر لـ Z. نجد في الواقع أن التراجع في الأداء ناتج عن صغر حجم المبادل الحراري وهو ذو أهمية لقيم Z الأقل من 1. إن القيم الفعلية لـ Z هي بين 1 و3 ، في حين أن

قيمة Z=2 استخدمت لتطوير f-chart الشكل (3.2.5). يمكن تقدير باقي قيم Z الموجودة في أداء الأنظمة بضرب البارامتر اللابعدي Y بمعامل التصحيح التالي:

$$\frac{Y_c}{Y} = 0.39 + 0.65 \exp\left(-\frac{0.139}{Z}\right) \qquad (19.2.5)$$

تُطبق المعادلة (19.2.5) في المجال $0.5 \le Z \le 50$. يمكن أيضاً تحديد معامل تصحيح حجم المبادل الحراري الحملي مباشرة من الشكل (8.2.5) أو باستخدام المعادلة (19.2.5) لهذا المجال.



الشكل (8.2.5) معامل تصحيح حجم المبادل الحراري الحملي

مثال (5.2.5):

إذا كان معدل تدفق السائل في المثال (3) هو [L/S] 0.525 ، فإن معدل تدفق الهواء يكون [L/S]470 ، ومردود المبادل الحراري الحملي 0.65، ومعامل الفقد الكلي للبناء لمنطقة الإنتاج [W/K]422= $(UA)_h$ هو . أوجد التأثير على الحصة الشمسية لشهر تشرين الثاني.

الحل:

يجب إيجاد القيمة الصغرى للسعة، لذلك إذا افترضنا أن درجة الحرارة العملية 350K [°C]77= يمكن إيجاد خصائص الهواء والماء بالنسبة لدرجات الحرارة من الجدولين (A.1) و (A.2) في الملحق.

$$(\dot{m}C_{p,})_{air} = \dot{m}.\rho C_p =$$
$$(\dot{m}C_{p,})_{air} = 470 \times 0.998 \times 1009/1000 = 473.3[W/K]$$

$$(\dot{m}C_{p,})_{water} = \dot{m}.\rho C_p =$$
$$(\dot{m}C_{p,})_{water} = 0.525 \times 974 \times 4190/1000 = 2142.6[W/K]$$

لذلك فإن السعة الصغرى تكون لمنطقة الهواء في المبادل الحراري الحملي.

من المعادلة (18.2.5):

$$Z = \frac{\varepsilon_L (\dot{m}c_p)_{\min}}{(UA)_L} = \frac{0.65 \times (473.3)}{422} = 0.729$$

يُعطى معامل التصحيح باستخدام المعادلة (19.2.5):

$$\frac{Y_c}{Y} = 0.39 + 0.65\exp\left(-\frac{0.139}{Z}\right) = 0.39 + 0.65\exp\left(-\frac{0.139}{0.729}\right) = 0.93$$

من المثال(3.2.5)، نجد أن قيمة البارامتر اللابعدي Y هي 0.5 . لذلك :

$$Y = 0.50 \times 0.93 = 0.47$$

إن قيمة البارامتر اللابعدي X لهذا الشهر 1.76 ، من المعادلة (8.2.5) التي تُعطى الحصة الشمسية f=0.323، أي انخفاضاً قدره 2% عن القيمة السابقة.

في الأمثلة السابقة يوجد بارامتر واحد فقط مختلف عن الحجوم القياسية، ولكن إذا كان الاختلاف في حجم التخزين وحجم المبادل الحراري عن الحجوم القياسية فإنه يجب حساب كل من X_c و Y_c من أجل تحديد التغطية الشمسية.

مثال (6.2.5):

تم إنشاء نظام طاقة شمسية لتدفئة المكان وتسخين مياه منزلي في قبرص خط عرض 35 شمال خط الاستواء. احسب حصة التسخين الشمسي الشهري والسنوي لمساحة لواقط $20\ [m^2]$ بالنسبة للمعطيات التالية:

1- جبهة اللواقط باتجاه الجنوب تميل 45 درجة عن الأفق. معاملات أداء اللواقط هي:

$F_R(\tau\alpha)_n = 0.82$ و $F_R U_L = 5.65\ [W/m^2\ ^\circ C]$ وقد تم تحديد كليهما من الاختبارات النظامية للواقط.

2- معدل التدفق لكل من الماء ومانع التجمد في المبادل الحراري للواقط هو $0.02\ [L/S.m^2]$ و المعامل $F_R'/F_R = 0.98$.

3- سعة التخزين تساوي $120[L/m^2]$

4- النسبة $\tau\alpha/(\tau\alpha)_n = 0.96$ لشهر تشرين الأول حتى شهر آذار وتكون 0.93 من نيسان حتى أيلول.

5- قيمة UA للبناء تساوي 450 [W/K]. الفعالية بين مبادل الماء وحمل الهواء هي 0.75 ومعدل تدفق الهواء 520 [L/S] .

6- انعكاسية الأرض هي 0.2 .

7- المعطيات المناخية و Degree-Days لقبرص مبينة في الجدول رقم (4.2.5) مع حمل الماء الساخن.

الجدول(4.2.5) البيانات المناخية للمثال (6.2.5)

الشهر	$\bar{H}[MJ/m^2]$	$\bar{T}_a[°C]$	$\bar{K}_T$	DD[°C.days]	L[GJ]
كانون 2	8.96	12.1	0.49	175	3.5
شباط	12.38	11.9	0.53	171	3.1
آذار	17.39	13.8	0.58	131	2.8
نيسان	21.53	17.5	0.59	42	2.5
أيار	26.06	21.5	0.65	3	2.1
حزيران	29.20	29.8	0.70	0	1.9
تموز	28.55	129.2	0.70	0	1.8
آب	25.49	29.4	0.68	0	1.9
أيلول	21.17	26.8	0.66	0	2.0
تشرين 1	15.34	22.7	0.60	1	2.7
تشرين 2	10.33	17.7	0.53	36	3.0
كانون 1	7.92	13.7	0.47	128	3.3

الحل :

أولاً: يجب حساب الأحمال . من أجل شهر كانون الثاني من المعادلة التالية:

$$D_h = (UA)(DD)_h = 450[W/K] \times 24\,[h/d] \times 3600[J/Wh] \times 175[C\text{-}days]$$

$$= 6.80[GJ]$$

الحمل الحراري الشهري (متضمناً حمل الماء الساخن) [GJ] 10.30 = 6.8 + 3.5 =L

والذي تم فيه تبيان النتائج لجميع الأشهر في الجدول(5.2.5)

الجدول(5.2.5) حمل التسخين لجميع الأشهر في المثال (6.2.5).

الشهر	DD[°C.days]	$L_h[GJ]$	$L_w[GJ]$	L[GJ]
كانون 2	175	6.80	3.5	10.30
شباط	171	6.75	3.1	9.75
آذار	131	5.09	2.8	7.89
نيسان	42	1.63	2.5	4.13
أيار	3	0.12	2.1	2.22
حزيران	0	0	1.9	1.90
تموز	0	0	1.8	1.80
آب	0	0	1.9	1.90
أيلول	0	0	2.0	2.00
تشرين 1	1	0.04	2.7	2.74
تشرين 2	36	1.40	3.0	4.40
كانون 1	128	4.98	3.3	8.28
المجموع				57.31

ثانياً : يجب علينا حساب المعدل اليومي الشهري المتوسط للإشعاع الكلي من سطح اللاقط المائل وذلك من الإشعاع اليومي على سطح أفقي H . لذلك يجب حساب زاوية الانحراف لكل شهر δ ليوم معين يدعى اليوم الاسمي في الشهر من الجدول (1.7.1)، ومن أجل كل يوم من تلك الأيام نحتاج لزاوية غروب الشمس ω_s من المعادلة (15.7.1) و زاوية غروب الشمس لسطح مائل من المعادلة:

$$\omega_s' = \min\left\{\omega_s\,,\cos^{-1}[-\tan(\phi-\beta)\tan\delta]\right\}$$

وتكون حسابات شهر كانون الثاني كالتالي:

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan\phi\tan\delta] = \cos^{-1}[-\tan 35\tan(-20.92)] = 74.5°$$

$$\omega_s' = \min\{74.5°, \cos^{-1}[-\tan(35-45)\tan(-20.92]\} = \min\{74.5°, 93.9°\} = 74.5°$$

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 0.775 + 0.00653(\omega_s - 90)$$
$$-[0.505 + 0.00455(\omega_s - 90)]\cos(115\bar{K}_T - 103)$$
$$= 0.775 + 0.00653(74.5 - 90)$$
$$-[0.505 + 0.00455(74.5 - 90)]\cos(115\times 0.49 - 103) = 0.38$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin(\omega_s) + (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos(\phi)\cos\delta\sin(\omega_s) + (\pi/180)\omega_s\sin(\phi)\sin\delta}$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(35-45)\cos(-20.92)\sin(74.5) + (\pi/180)74.5\sin(35-45)\sin(-20.92)}{\cos(35)\cos(-20.92)\sin(74.5) + (\pi/180)74.5\sin(35)\sin(-20.92)} = 2.05$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right)\bar{R}_B + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_G\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$
$$= (1-0.38)\times 2.05 + 0.38\left(\frac{1+\cos 45}{2}\right) + 0.2\left(\frac{1-\cos 45}{2}\right) = 1.62$$

وأخيراً :

$$\bar{H}_t = \bar{R}\bar{H} = 1.62\times 8.96 = 14.52[MJ/m^2]$$

الحسابات لكل الأشهر مبينة في الجدول (5.2.5):

الجدول (6.2.5) الحسابات المتوسطة الشهرية للمثال (6)

$\bar{H}_T$ $[MJ/m^2.day]$	$\bar{R}$	$\bar{R}_b$	$\frac{\bar{H}_d}{H}$	ω'_s (°)	ω_s (°)	δ	N	
14.52	1.62	2.05	0.38	74.5	74.5	-20.92	17	كانون2
17.08	1.38	1.65	0.37	80.7	80.7	12.95	47	شباط
20.00	1.15	1.27	0.36	88.3	88.3	2.42	75	آذار
20.67	0.96	0.97	0.38	88.3	88.3	9.41	105	نيسان
21.89	0.84	0.78	0.36	86.6	86.6	18.79	135	أيار
22.78	0.78	0.70	0.35	85.7	85.7	23.09	162	حزيران
23.13	0.81	0.74	0.34	86.1	86.1	21.18	198	تموز
22.94	0.90	0.88	0.34	87.6	87.6	13.45	228	آب
22.65	1.07	1.14	0.33	89.6	89.6	2.22	258	أيلول
20.25	1.32	1.52	0.34	83.2	83.2	-9.6	288	تشرين1
16.32	1.58	1.94	0.36	76.1	76.1	18.91	318	تشرين 2
13.54	1.71	2.19	0.38	72.7	72.7	23.05	344	كانون 1

الآن يمكننا أن نتحرك على مخطط (f-chart) .

الأعداد اللابعدية X و Y من المعادلات السابقة:

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a)\Delta t \frac{A_c}{L}$$

$$X = 5.65 \times 0.98(100 - 12.1) \times 31 \times 24 \times 3600 \times \frac{20}{10.30 \times 10^9} = 2.53$$

$$Y = F_R(\tau\alpha)\frac{F'_R}{F_R}\left[\frac{(\tau\bar{\alpha})}{(\tau\alpha)_n}\right] H_t N \frac{A_c}{L}$$

$$= 0.82 \times 0.98 \times 0.96 \times 14.52 \times 10^6 \times 31 \times \frac{20}{10.30 \times 10^9} = 0.67$$

نحسب تصحيح الخزان من المعادلة :

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{M_{was}}{M_{ws}}\right)^{-0.25} = \left(\frac{120}{75}\right)^{-0.25} = 0.89$$

يمكن أن توجد السعة الصغرى (عند درجة الحرارة الافتراضية 77 درجة مئوية):

$$C_{air} = 520 \times 0.998 \times 1009 / 1000 = 523.6[W / K]$$

$$C_{water} = (0.02 \times 20) \times 974 \times 4190 / 1000 = 1632[W / K]$$

لذلك القيمة الدنيا للسعة الحرارية هي للهواء بجانب المبادل الحراري يعطى من المعادلة :

$$Z = \frac{\varepsilon_L (\dot{m}c_p)_{\min}}{(UA)_L} = \frac{0.75 \times (523.6)}{450} = 0.87$$

معامل التصحيح يعطى من المعادلة:

$$\frac{Y_c}{Y} = 0.39 + 0.65\exp\left(\frac{-0.139}{z}\right) = 0.39 + 0.65\exp\left(\frac{-0.139}{0.87}\right) = 0.94$$

ولذلك :

$$X_c = 2.53 \times 0.89 = 2.25$$
$$Y_c = 0.67 \times 0.94 = 0.63$$

بعد ذلك نحسب التغطية الشمسية فنجدها تساوي : f=0.419

وتتمة الحسابات لكل أشهر السنة تبين في الجدول (6.2.5) .

الجدول (7.2.5) الحسابات الشهرية من أجل f-chart للمثال(6.2.5)

	X	Y	Xc	Yc	F	f.L
كانون 2	2.53	0.67	2.25	0.63	0.419	4.32
شباط	2.42	0.76	2.15	0.71	0.483	4.71
آذار	3.24	1.21	2.88	1.14	0.714	5.63
نيسان	5.73	2.24	5.10	2.11	1	4.13
أيار	10.49	4.57	9.34	4.30	1	2.22
حزيران	11.21	5.38	9.98	5.06	1	1.90
تموز	11.67	5.95	10.39	5.59	1	1.80
أب	11.02	5.59	9.81	5.25	1	1.90
أيلول	10.51	5.08	9.35	4.78	1	2.00
تشرين 1	8.37	3.53	7.45	3.32	1	2.74
تشرين 2	5.37	1.72	4.78	1.62	0.846	3.72
كانون 1	3.09	0.78	2.75	0.73	0.464	3.84
المجموع						38.91

التغطية السنوية من الحمل بنظام الطاقة الشمسية هو :

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} = \frac{38.91}{57.31} = 0.679 or 67.9\%$$

3.2.5.حساب حمل المياه الساخنة وحمل التدفئة:

سيرمز للحمل الكلي بالرمز L وإلى الجزء المغذى من قبل الطاقة الشمسية بالرمز L_S ومثيله من المصدر المساعد بالرمز L_A. ستتكامل هذه الأحمال على فترة من الزمن، كساعة أو شهر. يوجد أوقات يتم من خلالها تغطية الحمل بشكل كلي من الطاقة الشمسية وأوقات أخرى يتم فيها تغطية الحمل فقط من المصدر المساعد.

1-حمل المياه الساخنة:

الأحمال اللازمة لتسخين المياه في أنظمة تسخين المياه تتضمن ثلاثة أقسام:

- يعبر القسم الأول عن متطلبات الحرارة المحسوسة اللازمة لتسخين المياه. إذا اعتبرنا أن معدل تدفق المياه $\dot{m}$ ويجب تسخينها من درجة حرارة التزويد T_{cold} إلى درجة حرارة التوزيع T_d، بالتالي إن معدل الحرارة المحسوسة المطلوب إضافته هو:

$$\dot{L}_w = \dot{m} C_p \left(T_d - T_{cold}\right) \qquad (20.2.5)$$

- يعبر القسم الثاني عن الضياعات اللازم تعويضها من نظام التوزيع، ويمكن تحقيق ذلك من خلال طرق تقليدية. إذا تم استخدام نظام الدارة المغلقة المتصلة (كالمستخدم في الأبنية الكبيرة، حيث يُتطلب وصول الماء الساخن آنياً لمواقع بعيدة عن مسخن المياه)، أي أن الضياعات من الأنابيب يمكن أن تساوي مقدار الحرارة المحسوسة اللازمة نفسها.
- يعبر القسم الثالث عن الضياعات من الخزان الحراري والتي قد تكون كبيرة. يقدّر معدل الضياعات الحرارية من الخزان $\dot{L}_t$ من معامل ضياعات الخزان بالمساحة الخارجية $(UA)_t$ بجداء فرق درجات الحرارة بين درجة حرارة الماء ضمن الخزان ودرجة حرارة الوسط المحيط:

$$\dot{L}_t = (UA)_t (T_{storage} - T_a) \qquad (21.2.5)$$

على كل حال، إن تخمين معامل انتقال الحرارة يعتمد على سماكة العازل وموصليته الحرارية والذي سيؤدي إلى إهمال ضياعات الخزان الحرارية إذا أهملت تأثيرات نظام التزويد والأنابيب وأي تسريبات حرارية أخرى. القيم المقيسة لمعاملات ضياع الخزان تكون عادة ضعفين إلى أربعة أضعاف من تلك المحسوبة من سماكة العازل وموصليته.

في حالة مسخنات المياه الموضوعة في الأبنية المدفأة فإن الضياعات الحرارية من خزان المياه الساخنة هي عبارة عن ربح حراري غير متحكم به من المبنى.

يمكن حساب الحمل الحراري بالعلاقة:

$$L_w = \dot{V} . \rho . C_p . N . (T_d - T_{cold}) \qquad (22.2.5)$$

حيث :

$\dot{V}$: تدفق المياه [m^3/s]،

ρ : كثافة الماء [1000 Kg/m^3]

C_p : السعة الحرارية للمياه [4180[J/Kg.°C]

N عدد أيام الشهر المدروس،

T_d: تدعى درجة حرارة التوزيع للماء الساخن [°C] 60

T_{cold} : درجة حرارة الماء البارد أخذت في المثال المطبق.

L_w : الحمل الحراري الشهري للماء [W]

يحسب تدفق الماء:

تؤخذ السعة التخزينية للماء الساخن لكل شخص [Liter/person.day] 80-40

2. حمل التدفئة بطريقة درجة-يوم(Degree-day) ودرجة حرارة التوازن:

سيتم في هذه الفقرة شرح طريقة درجة-يوم (Degree-day)، ويمكن استخدام طرق أخرى وذلك بناءً على طلب المصمم ورغبته.

لتقدير الأحمال فإن طريقة درجة-يوم تفترض أن الضياعات الحرارية من المبنى تتناسب مع فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج. سنرمز لمعدل الطاقة المضافة للبناء (من مصدر كالسخان أو المشعات أو نظام التسخين الشمسي) بـ $\dot{L}$، ومعدل إنتاج الحرارة من المبنى بسبب السكان والإضاءة والأجهزة والإشعاع الشمسي الداخل... إلخ بـ $\dot{g}$، وإذا كان معدل انتقال الطاقة من المبنى يتناسب مع الفرق بين درجة حرارة المنزل ودرجة حرارة الوسط المحيط وبالتالي فإن توازن الطاقة في المنزل للحالة المستقرة يعطي:

$$\dot{L} + \dot{g} = (UA)_h (T_h - T_b) \qquad (23.2.5)$$

هنا تدعى درجة حرارة الوسط المحيط بدرجة حرارة التوازن T_b (Balance point temperature) عندما تصبح الطاقة الداخلية المتولدة عند هذه الدرجة قادرة على تعويض الضياعات:

$$\dot{g} = (UA)_h (T_h - T_b) \qquad (24.2.5)$$

أو:

$$T_b = \left(T_h - \dot{g}\right) / (UA)_h \qquad (24'.2.5)$$

إذا تم حل المعادلة $(24'.2.5)$ باعتبار هذه الدرجة هي درجة حرارة المنزل وتم تعويضها في المعادلة (21.2.5) يمكن بالتالي التعبير عن الحمل الآني للبناء بواسطة درجة حرارة التوازن:

$$\dot{L} = (UA)_h (T_b - T_a) \qquad (25.2.5)$$

ويمكن استنتاج حمل التدفئة لشهر من خلال مكاملة العلاقة (25.2.5):

$$L = \int_{month} (UA)_h (T_b - T_a)^+ dt \qquad (26.2.5)$$

حيث يمثل الرمز + القيم الموجبة فقط لـ $(T_b - T_a)$ المساهمة في حمل التدفئة. إذا تم تقريب التكامل من خلال محصلة كامل الشهر وفرضت كل من $(UA)_h$ و T_b على أنها ثوابت، بالتالي يُعطى حمل التدفئة الشهري بالعلاقة:

$$L = (UA)_h \, DD \qquad (27.2.5)$$

حيث:

DD هي رقم درجة-يوم(degree-days). إن رقم (degree-days) في يوم يكون هو تقريب بواسطة الفرق بين درجة حرارة التوازن T_b ودرجة الحرارة الوسطية T_{av} لذلك اليوم، أي $\frac{(T_{max} + T_{min})}{2}$ وتؤخذ القيم الموجبة فقط. إن(degree-days) لشهر هي مجموع القيم اليومية:

$$DD = \sum_{month} (T_b - T_{av})^{+} \qquad (28.2.5)$$

يلاحظ أنه إذا كانت واحدة $(UA)_h$ [$W/°C$] وواحدة DD هي [$°C - day$] فيجب عندئذ استخدام معامل 24×3600 لإيجاد قيمة الحمل الشهري بالـ [J].

على الرغم من أن درجة حرارة التوازن تتغير على مدار اليوم، إلا أن درجة الحرارة القاعدية التقليدية (Traditional Base Temperature) (التوازن) T_b هي [18.3]°C أو [65]°F، والتي اعتمدت على متوسط درجة حرارة الغرفة 24°C ومتوسط معدلات توليد الطاقة الداخلية ومن خبرات الإنشاء للأبنية النموذجية المنشأة قبل عام 1940 في الولايات المتحدة. امتلكت المباني في السنوات الأخيرة عزلاً حرارياً أفضل وكذلك معدلات توليد طاقة داخلية أعلى ودرجات حرارة أخفض مما ساهم في تخفيض درجة الحرارة القاعدية Base Temperature. لذلك تحتاج طريقة درجة-أيام لدرجات حرارة قاعدية أخرى، وتتوفر جداول درجة-أيام لدرجات حرارة قاعدية مختلفة مثل [Balcomb et al 1984] أو [Butso and Hatch].

أصبح من الممكن تقريب المتوسط الشهري لدرجة-أيام من العلاقة:

$$DD = \sigma_m n^{3/2}\left[\frac{h}{2} + \frac{\ln[\cosh(1.698h)]}{3.396} + 0.2041\right] \qquad (29.2.5)$$

حيث:

n: هو عدد أيام الشهر.

h: تعرف بالعلاقة التالية:

$$h = \frac{T_b - \overline{T}_a}{\sigma_m \sqrt{n}} \qquad (30.2.5)$$

يعرف σ_m بأنه الانحراف المعياري للمتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط ، والتي لا تتوفر عادة من معلومات الطقس. ولكن يمكن حسابه تقريبيا وبدون أي ضياع يذكر في الدقة من العلاقة (31.5):

$$\sigma_m = 1.45 - 0.0290\overline{T}_a + 0.0664\sigma_{yr} \qquad (31.2.5)$$

حيث:

σ_{yr} هو الانحراف المعياري للمتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط من المتوسط السنوي لدرجة حرارة الوسط المحيط ويحسب من العلاقة (32.2.5):

$$\sigma_{yr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12}(\overline{T}_{a,i} - \overline{T}_{a,year})^2}{12}} \qquad (32.2.5)$$

عندما تكون درجة الحرارة القاعدية أعلى بـ [°C]6 من المتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط يمكن عندئذ إيجاد درجة- أيام الشهرية من العلاقة (33.5):

$$DD = n\left(T_b - \overline{T}_a\right) \qquad (33.2.5)$$

مثال(8.2.5):

احسب درجة-أيام للتدفئة لـ 12 شهر وذلك عند درجة حرارة قاعدية Base Temperature 18.3[°C] لمدن Madison و Wisconsin وقارنها مع تلك المقاسة في الجدول التالي.

الحل:

يمكن استخدام العلاقة البسيطة لأشهر الشتاء من تشرين الأول إلى نيسان عندما تكون درجة الحرارة القاعدية أعلى بـ 6[°C] من المتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط والمعطاة بالمعادلة (33.2.5)، وسنظهر الحساب المفصل لشهر أيلول والتي تكون عنده درجة الحرارة الوسطية للوسط المحيط 15[°C]، باستخدام المعادلات (29.2.5) إلى المعادلة (31.2.5) والمتوسط السنوي لدرجة الحرارة في Madison هو 7.1[°C] بالتالي نوجد الانحراف المعياري للمتوسط السنوي لدرجة الحرارة للأشهر الخمسة الباقية من العلاقة:نأخذ كل القيم T_a للتطبيق في المعادلة:

$$\sigma_{yr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12}(\bar{T}_{a,i} - 7.1)^2}{12}} = 10.4$$

وبالتالي يمكن إيجاد σ_m من العلاقة(31.5) ويساوي إلى $\sigma_m = 1.71$ و $h = 0.353$ وذلك حسب المعادلة (30.2.5). حسبت(درجة-يوم) لشهر أيلول من المعادلة (29.2.5):

$$DD = 1.71 \times 30^{1.5}\left[\frac{0.353}{2} = \frac{\ln[\cosh(1.698 \times 0.353)]}{3.396} + 0.2041\right] = 121$$

والتي تختلف بمقدار 25 درجة-أيام عن القيمة المقاسة 96. تعطى كل من القيمة المقاسة والمحسوبة في الجدول أدناه. إن الفرق بين القيم المحسوبة في هذا المثال والقيم المقيسة في الجدول يعود إلى أن قيمة T_a ليست معلومة لقيم أفضل من ±0.5[°C] (خطأ القياس).

الشهر	Ta[°C]	القياسي DD	الحسابي DD
كانون الثاني	-8	830	815
شباط	-7	696	708
آذار	-1	599	599
نيسان	7	328	341
أيار	13	165	178
حزيران	19	40	44
تموز	21	8	23
آب	20	22	33
أيلول	15	96	121
تشرين الأول	10	263	263
تشرين الثاني	2	505	490
كانون الأول	-6	742	753
المجموع	7.1	4294	4368

4.2.5.أداء أنظمة تسخين الهواء بالطاقة الشمسية وتصميمها:

طور Klein في عام 1977 أنظمة تسخين تعتمد على الهواء بتصميم مشابه لأنظمة التسخين التي تعتمد على السوائل. تم تطوير f-chart للأنظمة التي تعتمد تسخين الهواء لتصبح هذه الأنظمة معتمدة في أنظمة الطاقة الشمسية انظر الشكل (9.2.5)، كما يمكن رؤية المخطط النموذجي لنظام تسخين الهواء بالطاقة الشمسية يستعمل الحصى كوسيط تخزين.

تزود الطاقة المطلوبة لـ DHW عن طريق مبادل حراري هواء- ماء كما هو مبين في الشكل. في الصيف عندما يكون التسخين غير مطلوب يفضل عدم تخزين الحرارة في الخزان المفروش بالحصى. لذا فإنه يستخدم عادة الطريق الفرعي كما هو مبين في الشكل (9.2.5) الذي يسمح باستخدام اللواقط لتسخين المياه فقط.

الشكل (9.2.5) مخطط توضيحي لنظام تسخين شمسي قياسي يعتمد على الهواء

حصة التسخين (f) للحمل الكلي الشهري المزود من النظام النموذجي الشمسي الذي يعتمد الهواء كوسيط ناقل في الشكل (9). وهو يتعلق أيضا بالبارامترين (X,Y) والذي يمكن الحصول عليه من المخطط (11.5) أو من المعادلة(34.2.5) :

$$f = 1.040Y - 0.065X - 0.159Y^2 + 0.00187X^2 - 0.0095Y^3 \qquad (34.5)$$



الشكل (10.2.5) مخطط (f-chart) لأنظمة التسخين الشمسية الهوائية

مثال (9.2.5):

نظام تسخين الهواء الشمسي النظامي يركب في المكان نفسه كما هو في المثال(3) ويكون له حمل البناء نفسه. مجمعات الهواء لها نفس المساحة بالمثال (3) وزجاج مضاعف $F_R(\tau\alpha)_n = 0.52$ $F_R U_L = 2.92[W/m^2C^\circ]$, $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n = 0.93$ قدّر حصة التسخين الشمسي السنوي.

الحل :

الشروط العامة لأنظمة الهواء لاتتطلب معامل تصحيح لمجمع المبادل الحراري، ومجاري الهواء معزولة بشكل ممتاز لذلك تكون الضياعات الحرارية صغيرة جداً ولذلك $\frac{F_R'}{F_R} = 1$. من أجل شهر كانون الثاني من المعادلتين (3.2.5) و(4.2.5):

$$X = F_R U_L \frac{F_R'}{F_R}(T_{ref} - \bar{T}_a)\Delta t \frac{A_c}{L}$$

$$= 2.92(100-10.1)\times 31\times 24\times 3600\times \frac{35}{35.2\times 10^9} = 0.7$$

$$Y = F_R(\tau\alpha)\frac{F_R'}{F_R}\left[\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}\right]\bar{H}_t N \frac{A_c}{L}$$

$$= 0.52\times 0.93\times 12.5\times 10^6\times 31\times \frac{35}{35.2\times 10^9} = 0.19$$

من المعادلة (34.2.5) أو من المخطط (10.2.5) فإن f=0.147 وبالتالي يكون الإشعاع الشمسي المساهم: $fL = 0.147\times 35.2 = 5.17[GJ]$ ونجد أن الحسابات نفسها تعاد لبقية الأشهر وترتب في الجدول(10.2.5):

الجدول (8.2.5) المساهمة الشمسية وقيم f لكل الأشهر للمثال(9.2.5):

	$\bar{T}_a[^\circ C]$	$\bar{H}_T\left[MJ/m^2\right]$	$L[\mathrm{GJ}]$	X	Y	F	f.L
كانون2	10.1	12.5	35.2	0.70	0.19	0.147	5.17
شباط	13.5	15.6	31.1	0.69	0.24	0.197	6.13
آذار	15.8	17.8	20.7	1.11	0.45	0.367	7.60
نيسان	19.0	20.2	13.2	1.63	0.78	0.618	8.16
أيار	21.5	21.5	5.6	3.84	2.01	1	5.60
حزيران	29.8	22.5	4.1	4.54	2.79	1	4.10
تموز	32.1	23.1	2.9	6.41	4.18	1	2.90
آب	30.5	22.4	3.5	5.44	3.36	1	3.50

أيلول	22.5	21.1	5.1	4.03	2.10	1	5.10
تشرين1	19.2	18.2	12.7	1.74	0.75	0.587	7.45
تشرين2	16.2	15.2	23.6	0.94	0.33	0.267	6.30
كانون1	11.1	13.1	33.1	0.74	0.21	0.164	5.43
المجموع			190.8	المساهمة الكلية			67.44

نلاحظ هنا أيضاً أن قيم f الغامقة تكون خارج تصحيح قيم f وحصة التسخين الشمسي في هذه الأشهر تكون 100% لأنه خلال هذه الأشهر فإن نظام الطاقة الشمسية يغطي الحمل بشكل كامل. من المعادلة (8.2.5) تكون حصة التسخين الشمسي في نظام الطاقة الشمسية هو :

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} = \frac{67.44}{190.8} = 0.353 or\cdot 35.3\%$$

الأنظمة الهوائية تستخدم **عاملي تصحيح:**

الأول: **من أجل حجم خزان فرشة الحصى** والثاني **من أجل معامل تدفق الهواء** حيث التدفق يؤثر في فرشة الحصى. لا يوجد (Load heat exchanger) في الأنظمة الهوائية ويجب أن تستخدم بارامترات الأداء للمجمع $F_R U_L$ و $F_R(\tau\alpha)_n$ المحددة لمعدل تدفق الهواء نفسه المستخدم عند التركيب.

A.4.2.5. تصحيح حجم خزان فرشة الحصى:

لتطوير f-chart في الشكل رقم (10) تعتبر سعة الخزان القياسية [$0.25\ [m^3/m^2$ من الحصى لكل متر مربع من سطح المجمع والتي تقابل $350[kJ/m^2.^\circ C]$ لحصة الفراغ

النموذجي ولخصائص الصخور. على الرغم من أن أداء الأنظمة الهوائية ليست حساسة لسعة التخزين كما هو الحال في الأنظمة السائلة ولكن يمكن أن تستعمل سعات تخزين أخرى عن طريق تعديل المعامل X بمعامل تصحيح حجم الخزان X_c / X كما هو معطى بـ (Klein 1977):

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{M_{a.b}}{M_{b.s}} \right)^{-0.30} \qquad (35.2.5)$$

حيث:

$M_{a.b}$: السعة التخزينية الفعلية للحصى لكل متر مربع من مساحة اللاقط[m^3/m^2].

$M_{b.s}$: سعة التخزين القياسية لكل متر مربع من مساحة اللواقط $= 0.25[m^3 / m^2]$

تطبق المعادلة (35.5) ضمن المجال $0.5 \le (M_{a.b} / M_{b.s}) \le 4.0$ أو

$0.125 \le M_{a.b} \le 1.0$

يمكن أن يحدد معامل تصحيح التخزين من الشكل (12.5) مباشرة بتطبيق المعادلة (35.5) ضمن هذا المجال.

الشكل (12.5) معامل تصحيح حجم الخزان للأنظمة الهوائية

B.4.2.5. تصحيح نسبة تدفق الهواء:

أنظمة التسخين التي تعتمد على الهواء كوسيط ناقل يمكن أن تصحح من أجل معدل تدفق الهواء. تزايد معدل تدفق الهواء يؤدي إلى زيادة أداء النظام بتحسين F_R ولكنه يميل إلى تخفيض الأداء من خلال تخفيض التطبق الحراري لفرشة الحصى. معدل تدفق المجمع القياسي يكون [L/sec]10 من الهواء لكل متر مربع من مساحة المجمع. يمكن أن يحسب أداء الأنظمة التي لها معدلات تدفق أخرى للمجمعات باستعمال قيم ملائمة لـ F_R و Y ثم يعدلان قيمة X من خلال معامل تصحيح نسبة تدفق الهواء $\frac{X_c}{X}$ لحساب درجة التطبق في فرشة الحصى (Klein 1977).

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_s} \right)^{0.28} \qquad (36.2.5)$$

حيث :

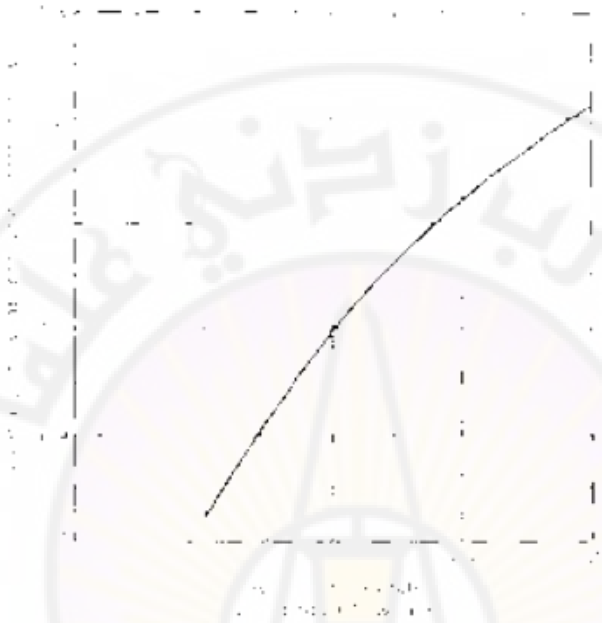
$\dot{m}_a$ القيمة الحقيقية لمعدل التدفق في المجمع/ لكل متر مربع من مساحة المجمع $[L/m^2 s]$.

$\dot{m}_s$ القيمة القياسية لمعدل التدفق في المجمع/ لكل متر مربع من مساحة المجمع $= 10[L/m^2 s]$

- المعادلة (36.2.5) تطبق من أجل معدل تدفق:

$$0.5 \le (\dot{m}_a / \dot{m}_s) \le 2.0 or 5 \le \dot{m}_a \le 20 \text{ :}$$

- معامل تصحيح تدفق الهواء يمكن أيضاً أن يحدد من المخطط (13.5) ونحصل عليه مباشرة بتطبيق المعادلة (36.2.5) ضمن هذا المجال :



الشكل (13.5) معامل تصحيح لمعدل تدفق الهواء لحساب التطبق في خزان الحصى

لمعدلات تدفق للهواء مختلفة عن القيمة القياسية $10[L/m^2.s]$ فإنه يجب إجراء تصحيح على قيمة كل من: $F_R(\tau\alpha), F_R U_L$ عند قيم التدفق الجديدة.

مثال (10.2.5):

نظام الهواء في المثال (7.2.5) يستخدم تدفقاً يساوي $17[L/m^2.s]$ ضمّن قيمة حصة التسخين الشمسي لشهر كانون الثاني عند التدفق الجديد حيث بارامترات العمل للمجمع :

$$F_R U_L = 3.03[W/m^2.^\circ C], F_R(\tau\alpha) = 0.54$$

الحل :

من المعادلة (36.2.5):

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_s}\right)^{0.28} = \left(\frac{17}{10}\right)^{0.28} = 1.16$$

التزايد في معدل تدفق الهواء يؤثر أيضاً في F_R وبارامترات الأداء كما هو موضح في تحديد المسألة لذلك تستخدم قيمة X من المثال السابق (7.2.5) لتصحيح معدل تدفق الهواء الجديد في المجمع والحصى المطبقة من هنا :

$$X_c' = X\left(\frac{F_R U_L|_{new}}{F_R U_L|_{test}}\right)\frac{X_c}{X} = 0.70\left(\frac{3.03}{2.92}\right)1.16 = 0.84$$

البارامتر اللابعدي Y يتأثر فقط بـ F_R و بهذا نجد :

$$Y_c = Y\left(\frac{F_R(\tau\alpha)|_{new}}{F_R(\tau\alpha)|_{test}}\right) = 0.19\left(\frac{0.54}{0.52}\right) = 0.20$$

أخيراً من الشكل (11.2.5) أو من المعادلة (34.2.5) فإن f=0.148 أو 14.8% وبالمقارنة مع القيمة السابقة 14.7% فإنه لا توجد أهمية في النقصان وذلك من أجل زيادة معدل التدفق ولكن يكون هناك زيادة في استطاعة المروحة.

- في نظام الطاقة الشمسية إذا كان معدل تدفق الهواء وحجم الخزان مختلفين عن القيم القياسية لهما ، فيجب عمل تصحيحين ل X.
- في هذه الحال قيمة X النهائية المستخدمة تكون غير المصححة مضروبة بمعاملي التصحيح.

مثال (11.2.5):

إذا كان نظام الهواء في المثال (9.2.5) يستخدم خزان الحصى مساوياً إلى $0.35[m^3/m^2]$ ومعدل التدفق $17[L/m^2 s]$ احسب حصة التسخين الشمسي من أجل شهر كانون الثاني. من أجل نسبة التدفق الجديد فإن بارامترات أداء المجمع فهي كما في المثال (10.2.5) .

الحل:

يجب أن يحسب معاملا تصحيح أولاً . معاملا تصحيح كل من Y, X من أجل زيادة معدل التدفق كما هو موضح في المثال (10.2.5). من أجل زيادة تخزين فرشة الحصى من المعادلة (36.2.5):

$$\frac{X_c}{X}=\left(\frac{M_{b,a}}{M_{b,s}}\right)^{-0.30}=\left(\frac{0.35}{0.25}\right)^{-0.30}=0.90$$

التصحيح من أجل معدل تدفق الهواء المعطى في المثال (10.2.5) والذي يساوي إلى 1.16 .
باعتبار التصحيح لمعدل التدفق على F_R والقيم الأصلية ل X :

$$X_c = X\left(\frac{F_R U_L|_{new}}{F_R U_L|_{test}}\right)\frac{X_c}{X}|_{flow}\ \ \frac{X_c}{X}|_{storage}=$$

$$0.70\left(\frac{3.03}{2.92}\right)1.16\times 0.90=0.76$$

إن البارامتر اللابعدي Y يتأثر فقط بواسطة F_R لذلك فإن القيمة في المثال (8.2.5) تستخدم هنا مساوية لـ 0.20 ولذلك من المخطط f من الشكل (11.2.5) أو من المعادلة (33.2.5)

$$f=0.153 \quad or 15.3\%$$

5.2.5.أداء أنظمة التسخين الشمسية لماء الاستعمال DHW وتصميمها:

إن مخطط f في الشكل (3.5) أو من المعادلة (8.2.5) يمكن أيضاً أن تستخدم من أجل حساب أداء أنظمة التسخين الشمسية لمياه الاستعمال بالترتيب الواضح في الشكل (14.5).



الشكل (14.5) مخطط توضيحي لترتيب نظام تسخين مياه قياسي

بالرغم من أن الوسط الناقل المستخدم في النظام المبين في الشكل (14.5) يمكن أن يكون هواء أو ماء يستخدم في النظام مبادل حراري ملائم من أجل تحويل الحرارة إلى خزان التخزين الأولي. الماء الساخن في خزان تخزين الحرارة يغذى بعد ذلك بسخان ماء إضافي حيث يتم رفع درجة حرارته إذا تتطلب الأمر ذلك. وصمام مزج يمكن أيضاً أن يستخدم من أجل إبقاء درجة حرارة التغذية تحت درجة الحرارة العظمى ولكن هذا المزج يمكن أن يتم في نقطة تُقرر من قبل المستخدم.

أداء أنظمة التسخين الشمسية يتأثر بدرجة حرارة المأخذ الرئيسي للماء البارد T_m ودرجة الحرارة الدنيا T_w المقبولة للماء الساخن، كلاهما يؤثر في متوسط درجة حرارة تشغيل النظام وعلى ضياعات الطاقة في المجمع. ولذلك البارامتر X والذي يحسب من أجل ضياعات الطاقة في المجمع يحتاج أن يصحح ويعطى من (Beckman 1977):

$$\frac{X_c}{X} = \frac{11.6 + 1.18T_w + 3.86T_m - 2.32\overline{T_a}}{100 - \overline{T_a}} \qquad (37.2.5)$$

T_m: درجة حرارة الماء الباردة الرئيسية [°C]

T_w : درجة حرارة الماء الساخن الدنيا المقبولة [°C]

$\overline{T}_a$: متوسط درجة الحرارة الشهرية للوسط المحيط [°C]

ان عامل التصحيح X_c/X يعتمد على أن الخزان الحراري الشمسي الأولي معزول جيدا .

إن الفواقد من الخزان الإضافي غير محتواة في تصميم f-chart وبالتالي للأنظمة التي تزود الماء الحار فقط فإن الحمل يجب أن يتضمن ضياعات الخزان الإضافي. ضياعات الخزان يمكن تقديرها من معامل الضياع الحراري ومساحة الخزان الحراري (UA) معتمدة على أن درجة حرارة كامل الخزان عند الحدود الدنيا المقبولة لدرجة حرارة الماء الساخن T_w.

يعتمد الأداء المميز للتسخين المائي الشمسي على أن سعة التخزين $75[L/m^2]$ من مساحة فتحة اللاقط وعلى بروفيل حمل الماء الساخن المثالي وبتأثير قليل لباقي المؤثرات. يعطى التصحيح عند سعات تخزين مختلفة باستخدام المعادلة (17.2.5).

مثال (12.2.5):

احسب نسبة التغطية الشمسية لنظام تسخين شمسي يتم وضعه في مكان لمدة 31 يوم لإجراء البحث عليه. إن متوسط الإشعاع الشمسي اليومي الكلي لسطح المجمع المائل [$19.3\ [MJ/m^2]$. متوسط درجة حرارة الوسط المحيط $\overline{T}_a = 18.1[°C]$ مساحة فتحة اللاقط $A = 5[m^2]$، $F_R(\tau\alpha)_n = 0.79$ ، $F_R U_L = 6.65$ وكل منهما تم تحديده من المقاييس التجريبية، حمل الماء الساخن= 200 L/d درجة حرارة الماء الرئيسية $T_m = 12.5[°C]$ ، درجة حرارة الماء الساخن الدنيا المقبولة $T_w = 60[°C]$. سعة التخزين للخزان الحراري= [$75\ [L/m^2]$، سعة الخزان الاحتياطي = 150 L ارتفاع الخزان = 1.1 m، قطر الخزان= 0.4 m، معامل الضياع الحراري= $0.59\ [W/m^2]$ درجة حرارة البيئة المحيطة 20 [°C] ومعدل التدفق في المجمع هي نفسها التي تستخدم في اختبار المجمع،

$$F'_R/F_R = 0.98 \quad , \quad (\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n = 0.94$$

الحل :

حمل التسخين المائي الشهري هو الطاقة المطلوبة لتسخين الماء من $T_m \longrightarrow T_w$ اضافة لضياعات الخزان الاحتياطي، وعند المراقبة لمدة شهر فإن حمل التسخين :

200 x 31 x 4190 x (60−12.5) =1.234 [GJ]

ضياعات الخزان الإضافي تعطى بـ : U A ($T_w - T_a$)

مساحة الخزان:

$$A = \frac{\pi d^2}{2} + \pi dl = \pi \frac{(0.4)^2}{2} + \pi \times 0.4 \times 1.1 = 1.63[m^2]$$

ضياعات الخزان الاضافي= 0.59x 1.63 x (60−20)=38.5 [W]

الطاقة المطلوبة لتغطية الضياعات في الشهر = 38.5 X31X24X 3600= 0.103 [GJ]

فيكون حمل التسخين الكلي= 1.234 +0.103 =1.337 [GJ]

وباستخدام المعادلات (4.2.5) و (3.2.5) ، نحصل على :

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} \left(T_{ref} - \bar{T}_a\right) \Delta t \frac{A_c}{L}$$

$$= 6.56 \times 0.98(100 - 18.1) \times 31 \times 24 \times 3600 \times \frac{5}{1.337 \times 10^9} = 5.27$$

$$Y = F_R \left(\tau\alpha\right)_n \frac{F'_R}{F_R} \left[\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}\right] \bar{H}_t \, N \, \frac{A_c}{L}$$

$$= 0.79 \times 0.98 \times 0.94 \times 19.3 \times 10^6 \times 31 \times \frac{5}{1.337 \times 10^9} = 1.63$$

من المعادلة (37.2.5) تصحيح X يكون:

$$\frac{X_C}{X} = \frac{11.6 + 1.1T_W + 3.86T_m - 2.32T_a}{100 - T_a} =$$

$$\frac{11.6 + 1.18 \times 60 + 3.86 \times 12.5 - 2.32 \times 18.1}{100 - 18.1} = 1.08$$

لذلك تكون القيمة الصحيحة لـ Xهي : 5.69= 1.08 x 5.27 = X_c . من الشكل (3.2.5) أو من المعادلة(5 .9.2) ومن أجل Y، X_c نحصل على (80.8% أو f=0.808).

5.2.5. ملاحظات عامة :

طريقة التصميم باستخدام f-chart تستخدم كطريقة سريعة لتحديد مواصفات طويلة الأمد في الأنظمة الشمسية وذلك حسب المقاييس المعيارية. يجب معرفة متوسط الإشعاع الشهري ودرجة الحرارة الشهرية وذلك كمعلومات أولية للتصميم والحمل الشهري المطلوب لتدفئة المباني ولمياه الاستخدام الساخنة، البارامترات المميزة لأداء اللاقط الشمسي يتم تحديدها من القياسات التجريبية. لقد تم إجراء عدة فرضيات لتطوير طريقة f-chart. الهدف الرئيسي من هذه الفرضيات هو الحصول على أنظمة مبنية جيداً، لترتيب النظام والتحكم به حتى يقترب هذا النظام من التصميم المعتبر في تطوير طريقة f-chartهو أن نسبة التدفقات للمجمع منتظمة. إذا كان النظام الشمسي الذي نتم دراسته يختلف عن هذه الشروط فإن طريقة f-chart لا يمكن اعتمادها لإعطاء النتائج .

يجب التأكيد على أن طريقة f-chart تستخدم كأداة لتصميم أنظمة لتدفئة الأبنية السكنية ولتسخين مياه الاستخدام من الشكل القياسي. في هذه الأنظمة، درجة الحرارة الدنيا للحمل قريبة من 20 [°C]، لذلك الطاقة تكون مفيدة فوق هذه الدرجة، لايمكن استخدام f-chart لتصميم الأنظمة التي تحتاج درجة الحرارة الدنيا مختلفة عن هذه الدرجة. وكذلك لا يمكن استخدامها في أنظمة التكييف الهوائي باستخدام الدارة الامتصاصية التي تحتاج درجة حرارة الحمل الأصغرية تصل حتى 80 [°C].

يجب أن نتفق أنه على الرغم من أهمية المعلومات المدخلة في طريقة f-chart إلا أنه يوجد عدد من النتائج المشكوك بصحتها وهي كالتالي :

أولا : يتعلق الشك الأول بعلم الأرصاد الجوية والمعلومات المأخوذة منه وبصورة خاصة عند تحويل المعلومات عن الإشعاع الوارد على سطح أفقي إلى اشعاع وارد على سطح مائل، وكذلك بسبب استخدام القيم المتوسطة والتي تختلف عن القيم الحقيقية طوال أجزاء السنة، وتكون شمس الظهر في الأيام كلها متماثلة .

ثانيا : يتعلق الشك الثاني بحقيقة أن أنظمة الطاقة الشمسية مبنية بشكل جيد وأن خزان التخزين معزول جيدا ولا يوجد تسرب بالنظام حيث يؤدي التسرب إلى تخفيض أداء النظام، وكذلك يفترض أن سائل التخزين ممزوج مزجاً تاماً مما يؤدي إلى خطأ في تقدير درجة حرارة الدخول إلى اللاقط .

ثالثا : يتعلق الشك الأخير بأن حمل تدفئة البناء وحمل الماء الساخن يعتمد بقوة على ظروف الطقس المتغيرة. وبالرغم من ذلك فإن f-chart تعد طريقة ملائمة للاستخدام وسهلة وسريعة في تصميم أنظمة التسخين الشمسي في الأبنية الشمسية.

3.5. طريقة الفائدة (Utilizability Methods) :

تعد طريقة f-chart أداة لتحديد الأداء الحراري للأنظمة الشمسية ولكنها تستخدم فقط للأنظمة التي تكون درجة الحرارة الدنيا المزودة للحمل قريبة من [°C] 20. لكن يوجد العديد من الاستعمالات والتي تستخدم الطاقة عند درجة حرارة أعلى أو أقل من [°C] 20. نظام تدفئة المخازن تتطلب أن تبقي البناء فوق التجميد وبهذا فإن الطاقة الموزعة تكون فوق الدرجة [°C] 0 . في أنظمة تكييف الهواء بالدارة الامتصاصية تكون الطاقة المستعملة فيها فوق الدرجة [°C] 75. العمليات الصناعية تتطلب طاقة عند درجات حرارة مختلفة. هذه الفقرة مخصصة للأنظمة الشمسية الفعالة التي لا يمكن محاكاتها بطريقة f-chart ويمكن نمذجتها بطريقة الفائدة .

تتوفر طرق تصميم للعديد من الأنظمة الشمسية الحرارية ولكن ليس لها كلها. تتطلب طريقة الفائدة معرفة درجة حرارة الدخول إلى اللاقط الشمسي، والتي غالباً تكون غير معروفة.

أنشئت طريقة المخطط ϕ من قبل [Whillier(1953)]، وتعتمد على بيانات الإشعاع الشمسي والحسابات الساعية الضرورية والتي يتم حسابها حول شمس الظهر من كل شهر. وعممت الطريقة بتحديد المكان الجغرافي وذلك من قبل [Liu and Jordan(1963)]. هذه المخططات المعممة ϕ تم توليدها من البيانات اليومية، وأعطت إمكانية لحساب مخطط الفائدة لأي

موقع وذلك بمعرفة فقط مؤشر الوضوح [clearness index] [K_T].بعد ذلك أثبت عمل Klein(1978)&Collares-Pereira(1979) بعدم الضرورة للحسابات الساعية. ثم تم التوصل إلى متوسط الفائدة اليومية الشهرية $\bar{\Phi}$ والتي تخفض كثيراً من تعقيدات هذه الطريقة وتحسن من أدائها. وفي هذه الفقرة سنتعرف على كيفية قيام Klien and Beckman (1979) بجمع طريقة الفائدة اليومية مع مفهوم مخطط- f للحساب من أجل سعة تخزين محدودة (طريقة مخطط f، $\bar{\phi}$) وفي كل حالة سيتم عرض كيفية تحديد مستويات الإشعاع الحدية ونوضح استخدام هذه الطرق.

إن الطرق التصميمية ممكنة للعديد من الأنظمة الحرارية الشمسية، ولكن ليس لها جميعها. إن جميع طرق الفائدة تتطلب معرفة درجة حرارة السائل الداخل للمجمع، وهي غالباً غير معروفة.

إن طريقة(f- chart، $\bar{\phi}$)، تسمح بتغير درجة حرارة دخل المجمع مع درجة حرارة خزان التخزين إلا أنها تتطلب أن دارة الحمل مغلقة مع السائل العائد إلى الخزان عند درجة حرارة تساوي أو تزيد عن درجة الحرارة الدنيا.

1.3.5. الفائدة الساعية (Hourly Utilizability):

يمكن تعريف الفائدة كجزء من الإشعاع الشمسي الوارد والذي يمكن تحويله إلى حرارة مفيدة. وهذا الجزء المفيد من لاقط لا يوجد فيه ضياعات بصرية وعامل إزالة الحرارة يكون واحداً أي $F_R(\tau\alpha)=1$. ويجب ملاحظة ان الفائدة من هذا اللاقط تكون دائماً أقل من الواحد، حيث الضياعات الحرارية موجودة في اللاقط. تتعلق معادلة [Hottel and whillier,1955] بنسبة الطاقة المفيدة المجمعة من خلال لاقط شمسي مسطح Q_u. هذا يعطى بالمعادلة (1.3.5) ويدخل في المعادلة الإشعاع الشمسي الساعي الوارد على سطح اللاقط I_t كما يلي :

$$Q_u = A_c F_R [I_t(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]^+ \qquad (1.3.5)$$

حيث:

F_R = عامل إزالة الحرارة من اللاقط،

A_c [m^2] = مساحة اللاقط،

$(\tau\alpha)$ = جداء معامل الامتصاص من السطح الماص بمعامل النفوذية للغطاء الشفاف،

$I_t[kJ/m^2]$ = الإشعاع الساعي الكلي الوارد على سطح اللاقط لكل وحدة مساحة من اللاقط، $U_L[W/m^2.k]$ = معامل ضياع الطاقة،

T_i = درجة حرارة دخول المائع للاقط ،

T_a = درجة حرارة الوسط المحيط .

من المعادلة السابقة عندما $Q_u = 0$ نجد قيمة الإشعاع الحدي (قيمة الإشعاع الحدي هي عندما تكون قيمة الإشعاع الممتص والضياع متساوية أي الطاقة المفيدة معدومة)، بالعلاقة (2.3.5):

$$I_{tc} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R(\tau\alpha)} \qquad (2.3.5)$$

يمكن التعبير عن الخرج المفيد للاقط بلغة مستوى الإشعاع الحدي كما يلي:

$$Q_u = A_c F_R(\tau\alpha)(I_t - I_{tc})^+ \qquad (3.3.5)$$

اللاقط الشمسي يمكن أن يعطي حرارة مفيدة فقط إذا كان الإشعاع الشمسي فوق القيمة الحدية. عندما يرد الإشعاع على سطح اللاقط المائل فإن الطاقة المفيدة لكل ساعة تكون $(I_t - I_{tc})^+$ حيث إن الإشارة + تعني أن هذه الطاقة تكون موجبة أو تساوي الصفر. هذا الجزء من الطاقة الكلية من أجل أي ساعة والذي يكون فوق المستوى الحدي يدعى(الفائدة الساعية) ويعطى بالعلاقة (4.3.5):

$$\phi_h = \frac{(I_t - I_{tc})^+}{I_t} \qquad (4.3.5)$$

إذا كان مستوى الإشعاع الحدي ثابتاً من أجل ساعة محددة (لنقل من الساعة العاشرة وحتى الساعة الحادية عشرة) لشهر (N يوم)، عندها يعطى خرج المجمع الساعي الشهري الوسطي لهذه الساعة من العلاقة:

$$Q_u = \frac{A_c F_R(\tau\alpha)}{N} \sum^{N} (I_t - I_{tc})^+ \qquad (5.3.5)$$

الإشعاع الشهري الوسطي في هذه الساعة المحددة هو $\bar{I}_T$ ، وبذلك يمكن التعبير عن الخرج المفيد الوسطي كما يلي:

$$\bar{Q}_u = A_c F_R(\tau\alpha)\bar{I}_T \phi \qquad (6.3.5)$$

حيث تعرف الفائدة ϕ الشهرية لهذه الساعة كما يلي:

$$\phi = \frac{1}{N} \sum^{N} \frac{(I_T - I_{Tc})^+}{\bar{I}_T} \qquad (7.3.5)$$

يمكن تحديد الفائدة باستخدام G_t، G_{tc} اللحظية، ولكن لأن بيانات الإشعاع تكون عادة متاحة على أساس ساعي، فإن القيم الساعية تكون مفضلة ومتوافقة أيضاً مع مبادئ هذه الطريقة.

في هذه الحالة، متوسط الطاقة المفيدة الشهرية الساعية تعطى بـ $N\bar{I}_T\Phi$. مثل هذه الحسابات يمكن إجراؤها لساعات الشهر كلها، ويمكن جمع النتائج للحصول على الطاقة المفيدة في الشهر.

وبغية جعل الطريقة أكثر فائدة بالعموم، فقد قام **Liu & Jordan** بتطوير منحنيات ϕ لتصبح أكثر شمولية. إن هذه المنحنيات مستقلة عن الموقع والاتجاه. الشكل (1) أو العلاقة (13a) يتم استخدامهما لتحديد ϕ عند مستوى شعاع حدي لا قياسي X_c، والذي تم تعريفه بالشكل I_{Tc}/I_T .

باستطاعتنا الآن كتابة X_c وهو مستوى الإشعاع الحدي اللابعدي بدلالة بارامترات المجمع:

$$X_c = \frac{I_{Tc}}{\bar{I}_T} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R(\tau\alpha)_n \dfrac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \bar{I}_T} \qquad (8.3.5)$$

حيث: $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ يتم تحديدها من أجل اليوم الاسمي في الشهر والزاوية الساعية المناسبة ويمكن تقدير هذه النسبة من b_o من العلاقة:

$$K_\theta = \frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} = 1 - b_o\left[\frac{1}{\cos\theta} - 1\right] \qquad (9.3.5)$$

لكل ساعة أو ساعتين يكون متوسط الإشعاع الساعي الوارد على اللاقط هو :

$$\bar{I}_T = (\bar{H}\,r - \bar{H}_D r_d)R_B + \bar{H}_D r_d\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \bar{H}\,r\,\rho_G\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right] \qquad (10.3.5)$$

وبالتقسيم على $\bar{H}$ وباستخدام معامل الوضوح $\bar{K}_T$ فإنّ :

$$\bar{I}_T = \bar{K}_T\bar{H}_o\left\{\left(r - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}r_d\right)R_B + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}r_d\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + r\,\rho_G\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]\right\} \qquad (11.3.5)$$

حيث:

r_d : نسبة الإشعاع المنتشر الساعي إلى الإشعاع المنتشر اليومي.

r : نسبة الإشعاع الكلي الساعي إلى الإشعاع الكلي اليومي.

وعلى التتالي يمكن تقدير النسبتين r_d , r من المعادلتين (12.3.5) و (13.3.5) على التتالي:

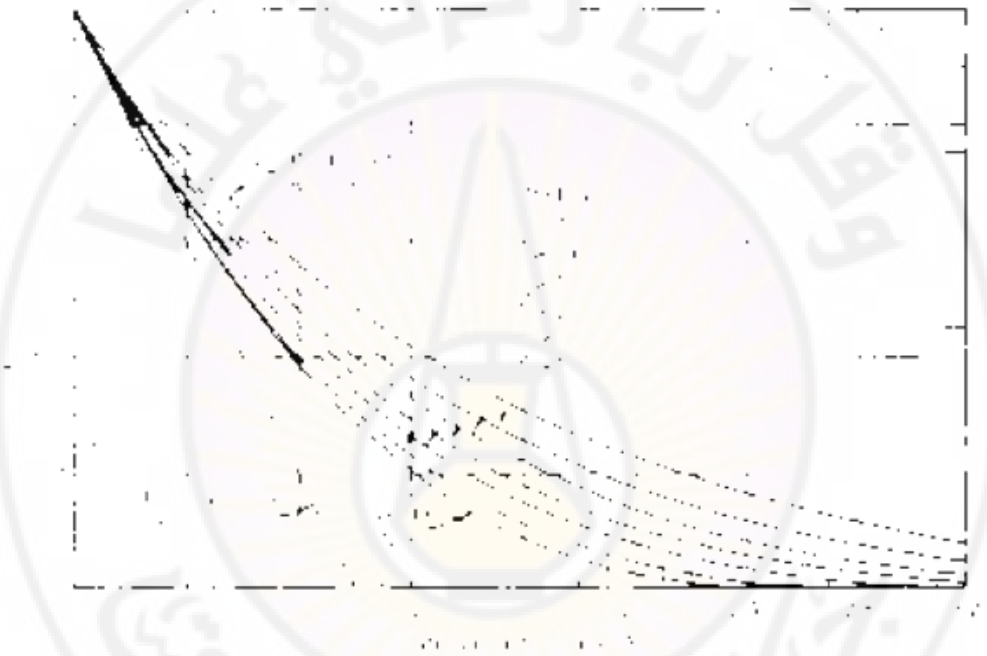
$$r_d = \left(\frac{\pi}{24}\right)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s} \qquad (12.3.5)$$

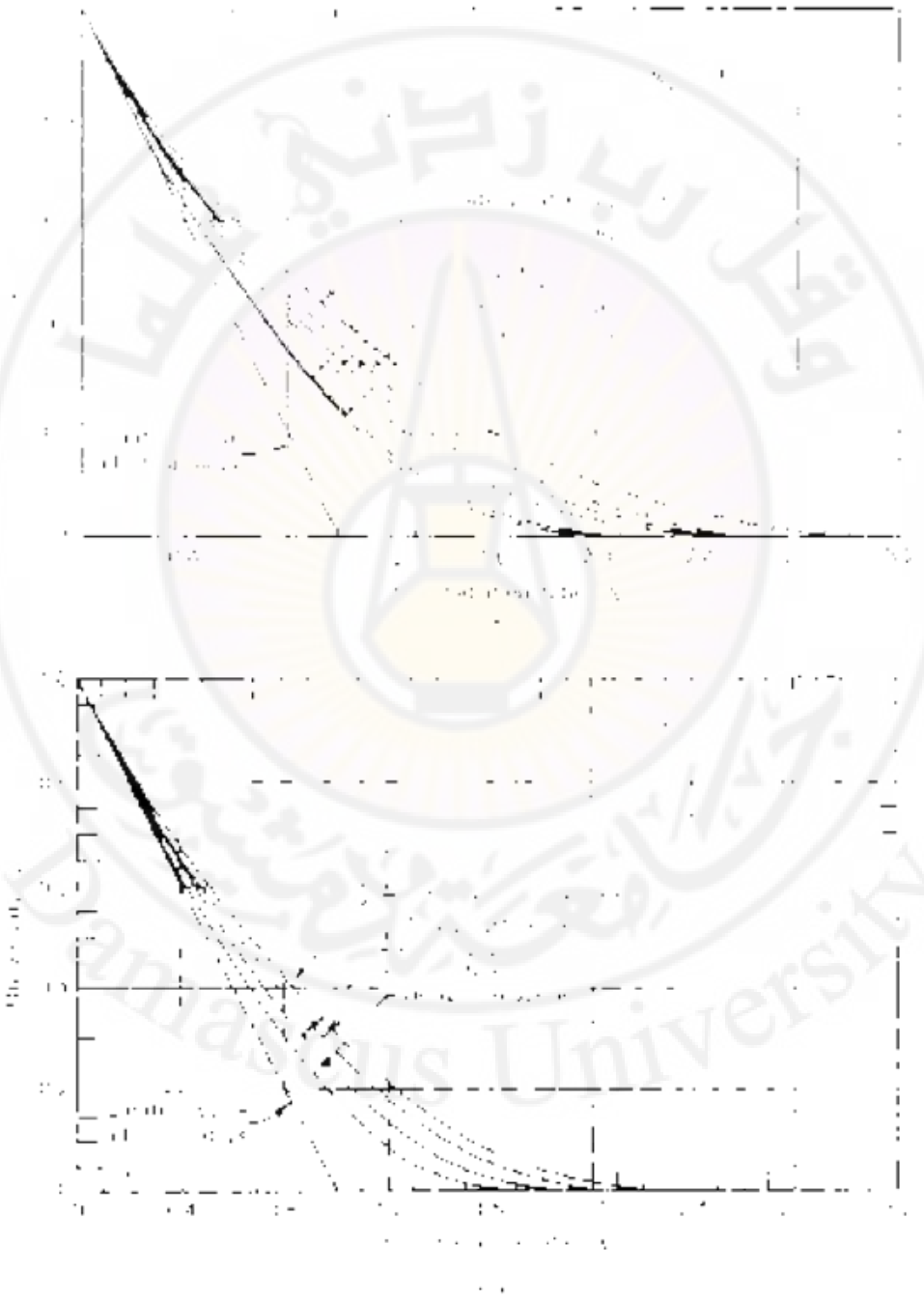
$$r = \frac{\pi}{24}[\alpha + \beta\cos\omega]\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s} \qquad (13.3.5)$$

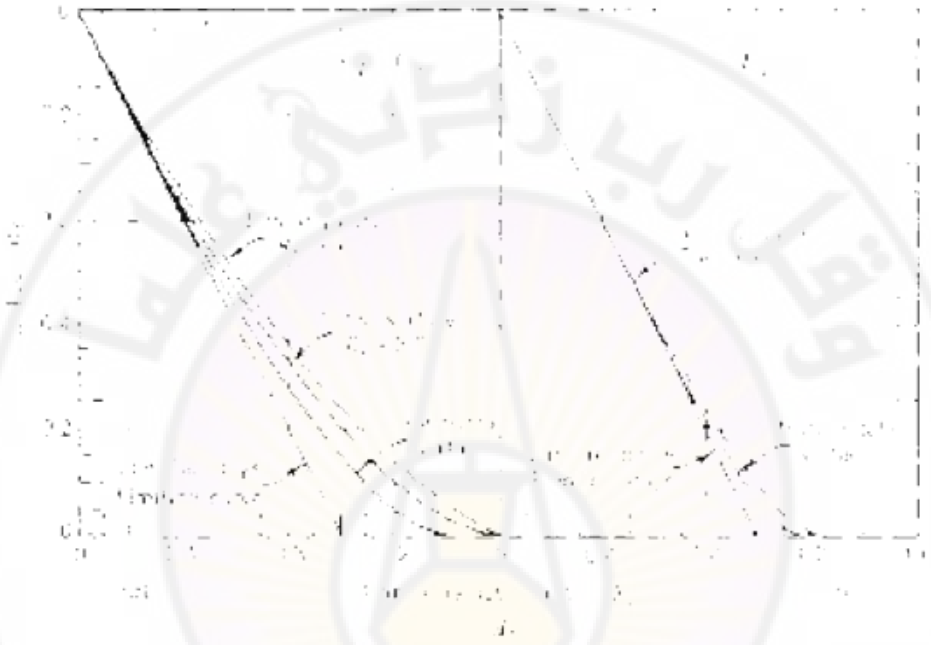
$$\alpha = 0.409 + 0.5016\sin(\omega_s - 60) \qquad (12a.3.5)$$

$$\beta = 0.6609 - 0.4767\sin(\omega_s - 60) \qquad (12b.3.5)$$

قام [Liu and Jordan (1963)] بانشاء منحنيات لـ ϕ لقيم مختلفة من $\bar{K}_T$ الشكل (*a-d*) (1.3.5).







الشكل (1.3.5) منحنيات $\bar{\phi}$ العامة لسطوح موجهة نحو الجنوب حسب (Liu &Jordan1963)

بهذه المنحنيات من المحتمل تقدير الطاقة المفيدة عند المستوى الحدي الثابت بمعرفة فقط متوسط الإشعاع الشمسي طويل الأمد. وأخيراً قام [Clark et al.(1983)] بتطوير إجراء بسيط لتخمين توابع Φ العامة:

$$\phi = \begin{cases} 0 \quad if \quad X_c \geq X_m \\ \left(1-\frac{X_c}{X_m}\right)^2 \quad if \quad X_m = 2 \\ otherwise \\ \left| |g| - \left[g^2 + (1+2g)\left(1-\frac{X_c}{X_m}\right)^2 \right]^{1/2} \right| \end{cases} \qquad (14a.3.5)$$

حيث:

$$g = \frac{X_m - 1}{2 - X_m} \qquad (14b.3.5)$$

$$X_m = 1.85 + 0.169\frac{\bar{R}_h}{\bar{k}_T^2} + 0.0696\frac{\cos\beta}{\bar{k}_T^2} - 0.981\frac{\bar{k}_T}{\cos^2(\delta)} \qquad (14c.3.5)$$

حيث:

$\bar{R}_h$ هي نسبة متوسط الإشعاع الساعي الشهري على سطح مائل إلى متوسط الإشعاع الساعي الشهري على سطح أفقي:

$$\bar{R}_h = \frac{\bar{I}_t}{\bar{I}} = \frac{\bar{I}_t}{r\bar{H}} \qquad (15.3.5)$$

ومتوسط مؤشر الوضوح الساعي الشهري $\bar{k}_T$ معطى بالعلاقة (16.3.5) :

$$\bar{k}_T = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_o} \qquad (16.3.5)$$

ويمكن تقديره باستخدام المعادلات (12.3.5)، (13.3.5):

$$\bar{k}_T = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_o} = \frac{r}{r_d}\bar{K}_T = \frac{r}{r_d}\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = \left[\alpha + \beta\cos(\omega)\right]\bar{K}_T \qquad (17.3.5)$$

حيث α , β من العلاقات أعلاه.

مع تحديد ϕ، يتبعها الطاقة المفيدة [$\phi.I_T$] .

إن الاستخدام الرئيسي للفائدة الساعية هو في تقدير خرج العمليات التي تمتلك مستوى إشعاع حدي يتغير بشكل كبير خلال اليوم. وقد يكون هذا التغير عائداً إلى اختلاف نظامي ومعلن لدرجة الحرارة في النهار أو إلى الانزياح في درجة حرارة دخل المجمع والناتجة عن خصائص الحمل.

المثال التالي هو عبارة عن عملية صناعية يتغير فيها الماء العائد إلى المجمع بشكل نظامي خلال النهار، مما يسمح بحساب مستويات الإشعاع الحدي في كل ساعة (وبذلك يمكن حساب الطاقة المفيدة).

مثال (1.3.5):

يتم تزويد عملية صناعية بالماء من خلال مصفوفة من المجمعات. درجة حرارة الماء العائد من العملية إلى المجمعات تختلف من ساعة إلى أخرى، ولكن من أجل ساعة ما تكون ثابتة تقريباً على طول الشهر. النظام موضوع في (Albuquerque NM)، على خط عرض°35 . المجمع يميل نحو الجنوب بمقدار°35. من أجل شهر آذار، درجة الحرارة التي يعود عندها الماء إلى المجمعات قد تم عرضها في العمود الثاني من الجدول (1.3.5). بينما يتم عرض درجة حرارة الوسط المحيط الوسطية لجميع الساعات في العمود الذي يليه. بينما يعرض العمود الرابع بيانات I_T ، حيث يتم حسابها من H من الملحق (A.3) بواسطة العلاقة (11.3.5 أو 12.3.5) . أما العمود الخامس فيعرض زوايا سقوط الإشعاع على المجمع. خصائص المجمع هي:
$F_R(\tau\alpha)_n = 0.726$ ، $F_R U_L = 3.89[W/m^2.°C]$، $b_o = 0.11$ و يمكن أخذ انعكاسية الأرض مساوية إلى 0.2. قم بتقدير خرج شهر آذار للمجمع العامل وفق هذه الظروف.

الحل:

البيانات الموجودة في الأعمدة من 6 إلى 9 في الجدول (1.3.5) تعرض نتائج حسابات شهر آذار من ساعة إلى أخرى . الحسابات من الساعة الثامنة إلى الساعة التاسعة هي كالتالي :

$$k_{\tau\alpha} = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = 1 - b_o\left(\frac{1}{\cos\theta} - 1\right) = 1 - 0.11\left(\frac{1}{\cos 52.5} - 1\right) = 0.929$$

يتم حساب مستوى الإشعاع الحدي اللاقياسي X_c من العلاقة (6.3.5):

$$X_c = \frac{I_{Tc}}{\bar{I}_T} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R(\tau\alpha)_n \dfrac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \bar{I}_T} = \frac{3.89(23-3)3600*10^{-6}}{0.726*0.929*1.74} = 0.239$$

من أجل شهر آذار $\bar{K}_T$ هو 0.68. ولذلك فمن الضروري أن نقرب قيمة $\bar{K}_T$ بين 0.6 و 0.7 في الشكل (1 d.3.5). من الشكل (A.1) في الملحق ($\phi = \beta$) من أجل شهر آذار نجد:

$R_b = 1.28$

و من الشكل (1 d.3.5) فإن قيمة ϕ قريبة جدا من 0.77 عند كل من قيمتي $\bar{K}_T$. و بدلا من ذلك، يمكن استخدام العلاقة (13a.3.5)، و التي تفضي إلى القيمة ϕ =0.769 . و بذلك يكون الكسب المفيد للمجمع من أجل هذه الساعة و من أجل الواحد و الثلاثين يوما في الشهر هو:

$$F_R(\tau\alpha)_n \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} N\bar{I}_T\phi = 0.726*0.929*31*1.74*0.769 = 27.9[MJ/m^2]$$

تتم إعادة هذه العملية من أجل كل ساعة من ساعات اليوم.

ظروف العمل من الساعة الحادية عشرة إلى الساعة الثانية عشرة و من الساعة الثانية عشرة و حتى الساعة الواحدة هي نفسها، ولذلك يتم إجراء الحسابات مرة واحدة من أجل هذا الزوج الساعي. و يكون الكسب المتوقع من المجمع في هذا الشهر هو مجموع قيم الخرج لكل الساعات.

الجدول (1.3.5) البيانات المناخية والإشعاع الحدي والفائدة الناتجة في المثال (1.3.5):

الساعات	$T_i[°C]$	$T_a[°C]$	I_T (MJ/m^2)	$\theta_c(°)$	$K_{\tau\alpha}$	Xc	ϕ	NQ_c/A $[MJ/m^2]$
9-8	23	3	1.74	52.5	0.929	0.239	0.769	27.94

10-9	23	3	2.49	37.6	0.971	0.160	0.843	45.9
11-10	23	3	3.08	22.6	0.991	0.126	0.975	60.1
12-11	28	4	3.41	7.9	1.000	0.136	0.865	66.3
1-12	28	4	3.41	7.9	1.000	0.136	0.865	66.3
2-1	47	9	3.08	22.6	0.991	0.240	0.764	52.5
3-2	47	9	2.49	37.6	0.971	0.303	0.706	38.4
4-3	47	9	1.74	52.5	0.929	0.454	0.575	20.9
المجموع								378

وبناء على ذلك يكون الكسب الشهري المفيد هو [MJ/m^2] 378 لكل متر مربع من المجمع كما هو مبين في الجدول (1.3.5).

مثال(2.3.5):

بفرض وجود نظام مُجمّع يقوم بتقديم الحرارة إلى عملية صناعية، درجة حرارة الماء العائد من العملية إلى المجمعات تختلف من ساعة إلى أخرى، ولكن من أجل ساعة ما تكون ثابتة تقريباً على طول الشهر كما في التالي (2.3.5). تمّ إجراء الحسابات لشهر نيسان حيث $\overline{K}_T = 0.63$. وذلك عند خط عرض 35°N و صفات اللاقط هي: $F_R'(\tau\alpha)_n = 0.82$ $F_R'U_L = 5.92[W/m^2.C°]$, زاوية ميل المجمع 40°، ثابت مُعَدّل زاوية الوُرُود b_o=0.1، شروط الطقس معطاة في الجدول التالي أيضاً. احسب الطاقة الناتجة من اللاقط .

الجدول (2.3.5) درجة حرارة مدخل اللاقط وشروط الطقس

الساعات	$T_i[°C]$	$T_a[°C]$	$\bar{I}_t[MJ/m^2]$
9-8	25	9	1.52
10-9	25	11	2.36
11-10	30	13	3.11
12-11	30	15	3.85
1-12	30	18	3.90
2-1	45	16	3.05
3-2	45	13	2.42
4-3	45	9	1.85

الحل:

أولاً : تحسب زاوية الورود والتي من خلالها يتم معرفة مُعدل زاوية الورود. تمّ إجراء التقديرات على ساعة، الزاوية الساعيّة من أجل الساعة(9-8) هي $52.5°$. من معادلة زاوية الورود :

$$\cos\theta = \sin(\phi-\beta).\sin\delta + \cos(\phi-\beta).\cos\delta.\cos\omega$$
$$= \sin(35-40).\sin(9.41) + \cos(35-40).\cos(9.41).\cos(52.5) = 0.584$$
$$\theta = 54.3^{\circ}$$

من المعادلة:

$$K_{\tau\alpha} = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = 1 - b_o\left[\frac{1}{\cos\theta} - 1\right] = 1 - 0.1\left[\frac{1}{\cos(54.3)} - 1\right] = 0.929$$

مستوى الإشعاع الحرج اللابُعدي X_C المعطى بالمعادلة:

$$X_c = \frac{I_{tc}}{\bar{I}_t} = \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{F_R(\tau\alpha)_n \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}\bar{I}_t} = \frac{5.92(25-9)\times 3600}{0.82\times 0.929\times 1.52\times 10^6} = 0.294$$

نجد قيمة $\bar{H}_o$:

$$\bar{H}_o = 35.8[MJ/m^2]$$

ومن بيانات الدخل نجد $\bar{H}$:

$$\bar{H} = \bar{K}_T \bar{H}_o = 35.8\times 0.63 = 22.56[MJ/m^2]$$

لتجنّب عملية التكرار للحسابات نفسها كما في الأمثلة السابقة فإنه يتم مباشرة إعطاء بعض القيم. لذلك $\omega_s = 96.7^\circ$, $\beta = 0.376^\circ, \alpha = 0.709^\circ$. من المعادلة (12.3.5):

$$r = \frac{\pi}{24}(\alpha + \beta\cos\omega)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$r = \frac{\pi}{24}(0.709 + 0.376\cos(54.3))\frac{\cos(52.5) - \cos(96.7)}{\sin(96.7) - \left(\frac{2\pi(96.7)}{360}\right)\cos(96.7)} = 0.075$$

من المعادلة (11.3.5):

$$r_d = \left(\frac{\pi}{24}\right)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$= \left(\frac{\pi}{24}\right)\frac{\cos(52.5) - \cos(96.7)}{\sin(96.7) - \left(\frac{2\pi(96.7)}{360}\right)\cos(96.7)} = 0.080$$

من المعادلة (14.3.5):

$$\bar{R}_h = \frac{\bar{I}_t}{\bar{I}} = \frac{\bar{I}_t}{r\bar{H}} = \frac{1.52}{0.075 \times 22.56} = 0.898$$

تُعطى علاقة مؤشّر الوضوح الساعي الشهري $\bar{k}_T$ من المعادلة (16.3.5):

$$\bar{k}_T = \frac{\bar{I}}{\bar{I}_o} = \frac{r}{r_d}\bar{K}_T = \frac{r}{r_d}\frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = [\alpha + \beta\cos(\omega)]\bar{K}_T$$

$$= [0.709 + 0.376\cos(52.5)] \times 0.63 = 0.591$$

من المعادلة (13c.3.5):

$$X_m = 1.85 + 0.169\frac{\bar{R}_h}{\bar{k}_T^2} + 0.0696\frac{\cos\beta}{\bar{k}_T^2} - 0.981\frac{\bar{k}_T}{\cos^2\delta}$$

$$= 1.85 + 0.169\frac{0.898}{(0.591)^2} + 0.0696\frac{\cos(40)}{(0.591)^2} - 0.981\frac{0.591}{\cos^2(9.41)} = 1.841$$

من المعادلة (13b.3.5):

$$g = \frac{X_m - 1}{2 - X_m} = \frac{1.841 - 1}{2 - 1.841} = 5.289$$

و من المعادلة (13a.3.5):

$$\phi = \left| \, |g| - \left[g^2 + (1+2g)\left(1 - \frac{X_c}{X_m}\right)^2 \right]^{1/2} \right|$$

$$\phi = \left| \, |5.289| - \left[5.289^2 + (1+2\times 5.289)\left(1 - \frac{0.294}{1.841}\right)^2 \right]^{1/2} \right| = 0.723$$

أخيرا فإن الربح المفيد من اللاقط في تلك الساعة (عدد أيام شهر نيسان 30 يوما):
يتم إظهار بقية النتائج للساعات الأخرى في الجدول التالي:

$$F_R(\tau\alpha)_n \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} N\bar{I}_t\Phi = 0.82\times0.929\times30\times1.52\times0.723 = 25.11[MJ/m^2]$$

الربح المفيد خلال الشهر يساوي [MJ/m^2] 427.6

الجدول (3.3.5) نتائج لكل الساعات في المثال (23.5):

الساعات	ω°	θ°	$K_{\tau\alpha}$	Xc	r_d	R	$\bar{R}_b$	K_T	$N_{\bar{I}_t}$	g	ϕ	U_C
9-8	52.5	54.3	0.929	0.294	0.08	0.075	0.89	0.59	1.84	5.29	0.72	25.11
10-9	37.5	40.1	0.969	0.159	0.10	0.101	1.04	0.64	1.77	3.46	0.85	47.54
11 10	22.5	26.7	0.988	0.144	0.11	0.120	1.15	0.66	1.74	2.80	0.86	64.93
12 11	7.5	16.2	0.996	0.102	0.12	0.132	1.29	0.68	1.75	2.95	0.90	84.90
1 12	7.5	16.2	0.996	0.080	0.12	0.132	1.31	0.68	1.75	3.05	0.92	88.01
2-1	-22.5	26.7	0.988	0.250	0.11	0.120	0.13	0.66	1.73	2.67	0.76	56.34
3 2	37.5	40.1	0.969	0.355	0.10	0.101	1.06	0.64	1.79	3.69	0.67	38.59
4-3	-52.5	54.3	0.929	0.544	0.08	0.075	1.09	0.59	1.94	14.63	0.53	22.20
المجموع												427.6

إن منحنيات ϕ هي أدوات تصميمية قوية جدا، و لكنها تتطلّب الانتباه لأنه يمكن أن يُساء استخدامها. على سبيل المثال وبسبب أن سعة التخزين محدودة فإن المستوى الحرج لدرجة حرارة مدخل اللاقط للسائل المعتمد في أنظمة التسخين الشمسية لتسخين مياه الاستخدام يختلف إلى حد كبير خلال الشهر، لذلك فإنه لا يمكن تطبيق طريقة منحنيات Φ مباشرة. هناك حالتان محدودتان للنظام الشمسي تنسجمان مع قيود منحنى ϕ: أنظمة تسخين الهواء في منتصف الشتاء و الأنظمة

ذات التخزين الفصلي. في حالة أنظمة الهواء، تكون درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجمع خلال معظم فصل الشتاء هي درجة حرارة الهواء العائد من المنزل. وهذا يكون لأن طاقة طفيفة زائدة تكون متاحة من أجل التخزين وما هو مخزن يتم تنضيده(تطبقه) بشكل فعال من خلال طبقة الحصى. فقط خلال فصل الربيع والخريف ترتفع درجة حرارة دخل المجمع إلى ما فوق درجة حرارة الغرفة. في حالة التخزين السنوي (طويل الأمد)، فإن درجة حرارة خزان التخزين تتغير بشكل بطيء خلال الشهر وبالتالي فإنه من الممكن إيجاد درجة حرارة الخزان الوسطية الشهرية و المستوى الحدي من خلال التجربة و الخطأ. و هذا ماسيتم توضيحه في الفقرة التالية. كما هو مبين في المثال(1.3.5) فإنه من الممكن أيضا تحليل بعض تطبيقات تسخين لعملية صناعية من خلال منحنيات ϕ إذا كان من الممكن تحديد المستوى الحدي في كل ساعة من الشهر.

إن الخط الموصوف في مخطط ϕ بـ " منحن محدود للأيام المتماثلة "، هو منحنيϕ الذي يمكن أن يتحقق فيما لو كانت جميع أيام الشهر متماثلة. إذا كانت $\bar{K}_T$ مرتفعة فقط أو إذا كان المستوى الحدي منخفضاً جداً فإن جميع منحنيات ϕ سوف تصل إلى هذا الحد، و بالتالي فإنه عندها فقط يمكن استخدام وسطي الأيام للتنبؤ بالأداء على المدى الطويل.

الفائدة اليومية(Daily Utilizability):

كما هو ملاحظ أعلاه فإن استخدام منحنيات $\bar{\phi}$ يتضمن حسابات لكل ساعة أو زوج ساعي. و هذا يعني أنه من أكثر المشاكل شيوعاً ، الحاجة إلى القيام بإجراء من أربعة إلى ثمانية حسابات في الشهر. و قد قاد هذا الوضع الباحث Klien(1978)، و أيضاCollares-Pereira and Rabl(1979a,b)، إلى تبسيط حسابات هذه الأنظمة حيث يمكن تحديد مستوى إشعاع حدي واحد من أجل كل الساعات في الشهر.

تحدد الفائدة اليومية كمجموع الإشعاع الشمسي الوارد في كل الساعات والأيام من الشهر على سطح مائل حيث يكون هذا الإشعاع أكبر من القيمة الحدية له، بحيث يكون الإشعاع متماثلاً، بالتقسيم على متوسط الإشعاع الشهري على سطح مائل يُعطى:

$$\bar{\phi} = \sum days \sum hours \frac{(I_t - I_{tc})^-}{N\bar{H}_t} \qquad (18.3.5)$$

إن المستوى الحدي I_{Tc} في صيغة العلاقة مشابه للمستوى الحدي المشار إليه في العلاقة (2.3.5) باستثناء أن جداء الامتصاصية – النفوذية الوسطية الشهرية يجب أن تستخدم بدلا من $(\tau\alpha)$ ، و T_i و T_a يمثلان درجة حرارة الدخل و درجة حرارة النهار في الشهر :

$$I_{tc} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})_n \dfrac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}} \qquad (19.3.5)$$

هذا و يمكن حساب قيمة $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ من خلال العلاقة (7.3.5) في فقرة (f-chart).
و يعطى كسب الطاقة المفيد اليومي الوسطي بالعلاقة :

$$\sum \bar{Q}_u = A_c F_R(\overline{\tau\alpha}) \bar{H}_T \bar{\phi} \qquad (20.3.5)$$

طور Klein تصحيحات لـ $\bar{\phi}$ كتابع لـ $\bar{K}_T$، ومستوى الإشعاع الحدي اللابعدي $\bar{X}_c$، والمعامل الجغرافي $\bar{R}/R_n$.

و R_n هو النسبة بين تركيز الاشعاع الساعي عند الظهر على سطح مائل إلى مثله على سطح أفقي ليوم وسطي من الشهر وتعطى بالعلاقة (21.3.5):

$$R_n = \left(\frac{I_t}{I}\right)_n$$
$$= \left(1 - \frac{r_{d,n} H_D}{r_n H}\right) R_{B,n} + \left(\frac{r_{d,n} H_D}{r_n H}\right)\left[\frac{1+\cos\beta)}{2}\right] + \rho_G\left[\frac{1-\cos\beta)}{2}\right] \qquad (21.3.5)$$

حيث من المعادلات (12.3.5) و(13.3.5) نحصل على r_n $r_{d,n}$ على التوالي عند الظهر الشمسي(ω=0°). يجب أن نلاحظ ان R_n يتم حسابه ليوم يكون فيه الإشعاع الكلي مساوٍ

لمتوسط الإشعاع الكلي اليومي الشهري، أي ليوم فيه $H = \bar{H}$ وأن R_n ليست القيمة الشهرية الوسطى لـ R عند الظهر. يعطى $\frac{H_D}{H}$ حسب Erbs et al. (1982) :

$For \omega_s \leq 81.4°.$

$$\frac{H_D}{H} = \begin{cases} 1.0 - 0.2727K_T - 2.4495K_T^2 - 11.9514K_T^3 + 9.3879K_T^4 & for K_T \langle 0.715 \\ 0.143 & for K_T \geq 0.715 \end{cases} \quad (22a.3.5)$$

$For \omega_s \rangle 81.4°.$

$$\frac{H_D}{H} = \begin{cases} 1.0 - 0.2832K_T - 2.5557K_T^2 + 0.8448K_T^3 & for K_T \langle 0.722 \\ 0.175 & for K_T \geq 0.722 \end{cases} \quad (22b.3.5)$$

مستوى الإشعاع الحدي الوسطي الشهري $\bar{X}_c$ يعرف كنسبة مستوى الإشعاع الحرج إلى مستوى الإشعاع عند الظهر ليوم من الشهر والذي يكون فيه الإشعاع هو نفسه المتوسط الشهري ويعطى بالعلاقة :

$$\bar{X}_c = \frac{\bar{I}_{tc}}{r_{t,n} R_n \bar{H}} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a) / F_R(\tau\alpha)}{r_{t,n} R_n \bar{K}_T \bar{H}_o} \quad (23.3.5)$$

الإجراء المتبع من قبل [klein 1978] يكون: من أجل $\bar{K}_T$ ، يقسم الاشعاع على ساعات في أيام متعاقبة، وهذه القيم الساعية للإشعاع تستخدم لإيجاد الإشعاع الشمسي الساعي الكلي الوارد على السطح المائل I_t . بعد ذلك تطرح قيم الإشعاع الحدي من قيم I_t وتجمع كما هو مبين في المعادلة (18.3.5) للحصول على قيم $\bar{\phi}$. المنحنيات $\bar{\phi}$ المحسوبة بهذه الطريقة يمكن الحصول عليها من المخططات في الشكل (2.3.5) أو من العلاقات(24.3.5) التالية:

$$\bar{\phi} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{\bar{R}}\right)\right]\left[\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2\right]\right\} \quad (24a.3.5)$$

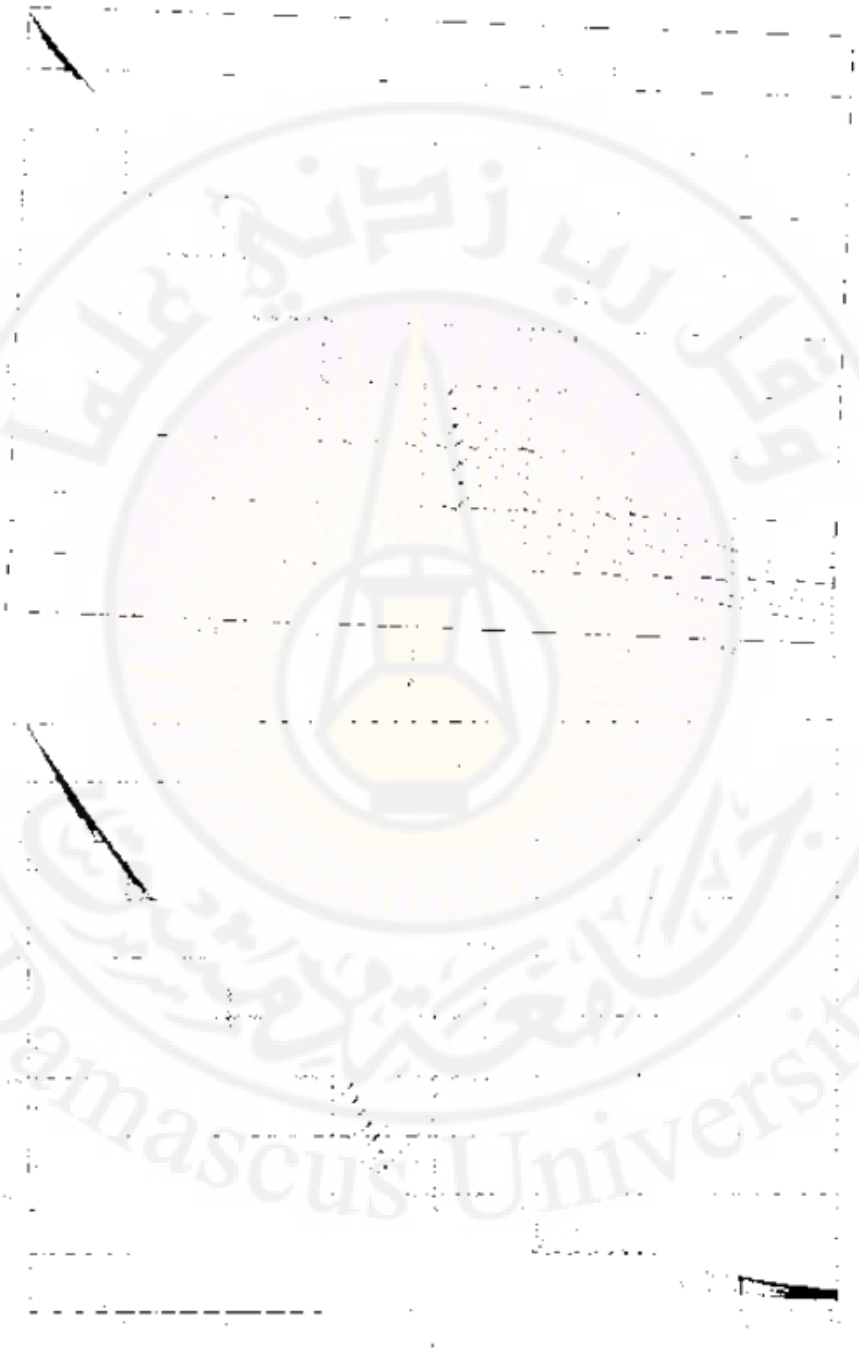
حيث:

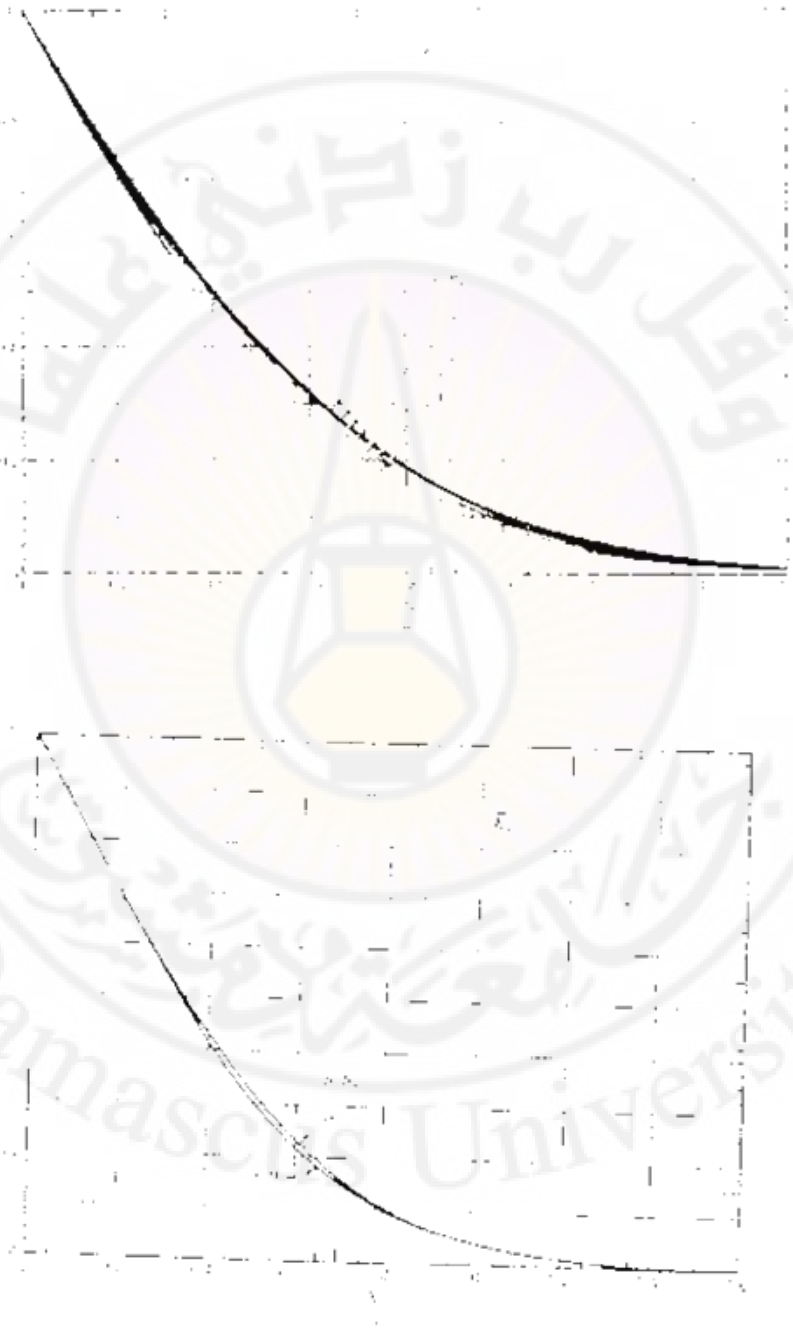
$$A = 2.943 - 9.271\bar{K}_T + 4.031\bar{K}_T^2 \qquad (24b.3.5)$$

$$B = -4.345 + 8.853\bar{K}_T - 3.602\bar{K}_T^2 \qquad (24c.3.5)$$

$$C = -0.170 - 0.306\bar{K}_T + 2.936\bar{K}_T^2 \qquad (24d.3.5)$$







الشكل(2.3.5) متوسط الفائدة الشهرية كتابع لـ $\overline{X}_c$ و $\overline{R} / R_n$

مثال (3.3.5) :

يوضع سطح موجه شمالا في منطقة على خط عرض°35 ويميل°40 عن الأفق في شهر نيسان عندما: $\bar{H} = 17.56[MJ/m^2]$ والإشعاع الحدي $H_{cr.} = 117[W/m^2]$، $\rho_G = 0.25$ احسب $\bar{\phi}$ والطاقة المفيدة.

الحل :

اليوم الاسمي لشهر نيسان N =105 ، زاوية الانحراف $\delta = 9.41°$ نحسب زاوية غروب الشمس $\omega_s = 83.3°$

من المعادلات (12a,b.3.5) نحسب:

$$\alpha = 0.409 + 0.5016 \times \sin(\omega_s - 60)$$
$$= 0.409 + 0.5016 \times \sin(83.3 - 60) = 0.607$$
$$\beta = 06609 - 0.4767 \times \sin(\omega_s - 60)$$
$$= 06609 - 0.4767 \times \sin(83.3 - 60) = 0.472$$

$$r_n = \frac{\pi}{24}(\alpha + \beta\cos\omega)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$= \frac{\pi}{24}(0.607 + 0.472\cos 0)\frac{\cos 0 - \cos 83.3}{\sin 83.3 - \left(\frac{2\pi 83.3}{360}\right)\cos 83.3} = 0.152$$

$$r_{d,n} = \frac{\pi}{24}\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$= \frac{\pi}{24} \frac{\cos 0 - \cos 83.3}{\sin 83.3 - \left(\frac{2\pi 83.3}{360}\right)\cos 83.3} = 0.140$$

لنصف الكرة الجنوبي (بوضع اشارة + بدلا من -) :

$$R_{b,n} = \frac{\sin(\phi+\beta)\sin\delta + \cos(\phi+\beta)\cos\delta\cos\omega}{\sin(\phi)\sin\delta + \cos(\phi)\cos\delta\cos\omega}$$

$$= \frac{\sin(-35+40)\sin(9.41) + \cos(-35+40)\cos(9.41)\cos 0}{\sin(-35)\sin(9.41) + \cos(-35)\cos(9.41)\cos 0} = 1.396$$

نحسب متوسط الإشعاع الشمسي اليومي الشهري خارج الغلاف الجوي للموقع المدروس فنجد:

$$\bar{H}_o = 24.84[MJ/m^2]$$

وبذلك تكون :

$$\bar{K}_T = \frac{17.56}{24.84} = 0.707$$

ومن أجل يوم فيه: $H = \bar{H}, \bar{K}_T = 0.707$ ومن المعادلة (22b.3.5) نجد:

$$\frac{H_D}{H} = 1.0 + 0.2832K_T - 2.5557K_T^2 + 0.8448K_T^3$$

$$= 1.0 + 0.2832 \times 0.707 - 2.5557(0.707)^2 + 0.8448(0.707)^3 = 0.221$$

ومن المعادلة(20.3.5):

$$R_n = \left(1 - \frac{r_{d,n}H_D}{r_n H}\right)R_{B,n} + \left(\frac{r_{d,n}H_D}{r_n H}\right)\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \rho_G\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

$$= \left(1 - \frac{0.140 \times 0.221}{0.152}\right) 1.396 + \left(\frac{0.140 \times 0.221}{0.152}\right)\left[\frac{1+\cos 40}{2}\right] + 0.25\left[\frac{1-\cos 40}{2}\right] = 1.321$$

ولنصف الكرة الجنوبي(بوضع إشارة + بدلاً من −) فإن:

$$\omega_s' = \min\left\{\omega_s, \cos^{-1}[-\tan(\phi+\beta)\tan\delta]\right\}$$
$$= \min\left\{83.3, \cos^{-1}[-\tan(-35+40)\tan(9.41)]\right\}$$
$$\omega_s' = \min\left\{83.3, 90.8\right\} = 83.3^\circ$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi+\beta)\cos\delta\sin\omega_s' + (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi+\beta)\sin\delta}{\cos(\phi)\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin(\phi)\sin\delta}$$
$$= \frac{\cos(-35+40)\cos(9.41)\sin(83.3) + (\pi/180)83.3\sin(-35-40)\sin(9.41)}{\cos(-35)\cos(9.41)\sin 83.3 + (\pi/180)83.3\sin(-35)\sin(9.41)}$$
$$\bar{R}_b = 1.496$$

من المعادلة (13d.3.5) المذكورة في فقرة (f-chart) نجد:

$$For\ \omega_s > 81.4^\circ\ and\ 0.3 \le \bar{K}_T \le 0.8$$
$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3$$
$$= 1.311 - 3.022 \times 0.707 + 3.427(0.707)^2 - 1.821(0.707)_T^3 = 0.244$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{H}\right)\bar{R}_B + \frac{\bar{H}_D}{H}\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \rho_G\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

$$\bar{R} = (1-0.244)\times 1.496 + 0.244\left[\frac{1+\cos 40}{2}\right] + 0.25\left[\frac{1-\cos 40}{2}\right] = 1.376$$

$$\frac{R_n}{\bar{R}} = \frac{1.321}{1.376} = 0.96$$

متوسط مستوى الإشعاع الحدي اللابعدي يكون :

$$\bar{X}_c = \frac{I_{tc}}{r_n R_n \bar{H}} = \frac{117\times 3600}{0.152\times 1.321\times 17.56\times 10^6} = 0.119$$

$$A = 2.943 - 9.271\bar{K}_T + 4.031\bar{K}_T^2$$
$$= 2.943 - 9.271\times 0.707 + 4.031(0.707)^2 = -1.597$$
$$B = -4.345 + 8.853\bar{K}_T - 3.602\bar{K}_T^2$$
$$= -4.345 + 8.853\times 0.707 - 3.602(0.707)^2 = 0.114$$
$$C = -0.170 - 0.306\bar{K}_T + 2.936\bar{K}_T^2$$
$$= -0.170 - 0.306(0.707) + 2.936(0.707)^2 = 1.081$$

$$\bar{\phi} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{\bar{R}}\right)\right][\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2\right\}$$
$$= \exp\left\{[-1.597 + 0.114(0.96)][0.119 + 1.081(0.119)^2]\right\} = 0.819$$

وأخيرا الطاقة الشهرية المحسوبة تكون :

$$Q_{useful} = N\bar{H}_t\bar{\Phi} = N\bar{H}\bar{R}\bar{\Phi} = 30\times 17.56\times 1.376\times 0.819 = 593.7[MJ/m^2]$$

مثال (4.3.5):

قيم الأداء السنوي لنظام تدفئة شمسي سائل مركب في مدينة ماديسون و مزود بحجم تخزيني كبير جداً (تخزين موسمي). مساحة اللواقط الشمسية تبلغ $50\ m^2$. تميل بزاوية $60°$ عن

الأفق وموجهة باتجاه الجنوب، يحوي الخزان250000 Liters من الماء. و الضياع الحراري من الخزان باتجاه الأرض عند درجة حرارة وسطية تقدر[°C] 7، معامل الضياع الحراري من سطح الخزان $(UA)_s = 30[W/°C]$، و $(UA)_h=200$ [W/°C] للبناء. ومواصفات مجموعة (اللاقط – المبادل الحراري – الأنابيب): $F_R' U_L = 4.55\left[W/m^2.°C\right]$ و $F_R'\left(\tau\alpha\right)_n = 0.78$.
المعلومات الشهرية الوسطية للأرصاد الجوية معطاة في الجدول (4.3.5).

الحل :

بما أن الخزان كبير جداً فإن درجة حرارته لن تتغير بشكل واضح خلال كل شهر من الأشهر و بالتالي بإمكاننا افتراض درجة حرارة وسطية معينة للماء الداخل إلى اللاقط الشمسي و هذا ما سيمكننا من استخدام طريقة $\bar{\Phi}$.

يمكن كتابة معادلة التوازن الطاقي للخزان من أجل فترة زمنية مساوية لشهر واحد :

$$(\dot{m}C_p\Delta T)_s = Collector\ output - Tank\ Losses - Energy\ to\ Load$$

من المعادلات (24.3.5) :

$$\bar{\phi} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{\bar{R}}\right)\right]\left[\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2\right]\right\}$$

$$A = 2.943 - 9.271\bar{K}_T + 4.031\bar{K}_T^2$$
$$B = -4.345 + 8.853\bar{K}_T - 3.602\bar{K}_T^2$$
$$C = -0.170 - 0.306\bar{K}_T + 2.936\bar{K}_T^2$$

في هذا الحل، سيتم الافتراض أن كل الطاقة الضرورية لتغطية حاجات التدفئة للبناء في كل الأشهر يمكن أن تؤمن بواسطة المبادل الحراري الخاص بحمل التدفئة، أي: كافة الأحمال مغطاة بواسطة الطاقة الشمسية .

الخطوة الأولية هي تقدير درجة حرارة الخزان في بداية شهر آذار، من أجل تبسيط العمل سنعتبر شهر آذار بداية العام لأننا غالباً ما نصادف فيه درجة حرارة الخزان الأخفض، وبالتالي ستكون عملية التقدير و التخمين أسهل. و عندما تصبح درجة حرارة الخزان عند بداية الشهر معروفة ، سنصبح قادرين على تخمين درجة الحرارة في نهاية الشهر. درجة الحرارة الشهرية الوسطية للخزان تستخدم من أجل حساب و تحديد الخرج الطاقي للاقط الشمسي و الضياع الحراري في الخزان. أما معادلة التوازن الطاقي للخزان فتستخدم لتحديد درجة حرارة الخزان عند نهاية الشهر. درجة الحرارة المحسوبة ستتم مقارنتها بالقيمة المفترضة سابقاً، فإذا وجد تقارب بالنتيجة نتابع الحسابات من أجل الشهر التالي، وإلا فإننا نقوم بافتراض درجة حرارة شهرية وسطية جديدة و نعيد حساب درجة الحرارة النهائية للخزان وهكذا. نكرر العملية السابقة من أجل الأشهر الـ 12 كلها و نقارن درجة حرارة الخزان النهائية مع درجة الحرارة الابتدائية المفترضة في بداية شهر آذار، فإذا حصل تقارب بالنتيجة، فمعنى ذلك أن الحسابات قد تمت، و إلا فلا بد من إعادة الحسابات من جديد . فيما يلي نلاحظ التفاصيل الخاصة بحسابات شهر آذار، والنتائج الخاصة بالأشهر ال 12 مرتبة في الجدول التالي . يحسب حمل التدفئة الشهري بطريقة DD حسب المعادلة :

$$(UA)_h(DD) = 200X3600X24X602 = 10.4\ [GJ]$$

تعتمد ضياعات الخزان على متوسط درجة الحرارة الشهرية فيه ($\overline{T_s}$)، وهي غير معروفة. سنفترض درجة الحرارة البدائية في الخزان[°C] 24.6 والوسطية [°C] 24.9 (سيتم التحقق منها لاحقاً):

$$(UA)_s(\overline{T_s} - T_{ground}) = 30X\ 3600X\ 24X\ 31\ (24.9-7) = 1.4\ [GJ]$$

بداية سيتم تقدير الربح الطاقي اليومي الوسطي لفترة شهر، وذلك اعتماداً على درجة حرارة الخزان المفروضة [°C] 24.9 .

حسب الموقع المدروس ومن أجل شهر آذار [$\overline{H} = 12.89\ [MJ/m^2]$. بالحساب فإن متوسط الإشعاع الشمسي الشهري اليومي الساقط على سطح اللاقط $\overline{H_T} = 15.8\ MJ/m^2$: و سنفترض أن القيمة الشهرية الوسطية لـ: $(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$ ثابتة وقيمتها 0.96 ، فتكون قيمة الإشعاع الحرج :

$$I_{tc} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})} = \frac{F_R U_L (T_i - \bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})_n \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}} = \frac{4.55(24.9-1)}{0.78\times 0.96} = 145 \text{ W/m}^2$$

هنا تم افتراض درجة الحرارة المتوسطة النهارية أعلى بدرجتين من درجة الحرارة المتوسطة لل 24 ساعة. يمكننا أن نحسب قيمة الإشعاع الحرج اللابعدي من المعادلة (23.3.5) :

$$\bar{X}_c = \frac{\bar{I}_{tc}}{r_{t,n} R_n \bar{H}} = \frac{145\times 3600}{0.146\times 1.12\times 12.89\times 10^6} = 0.25$$

باستخدام المعادلات (24.3.5) وبتعويض القيم: $\bar{K}_T = 0.50$, $\bar{\phi} = 0.68$

بالتالي يمكن أن يتم حساب الربح الطاقي الشهري بضرب المعادلة(19.3.5) بـ 31 (عدد أيام الشهر):

$$N\sum \bar{Q}_u = A_c F_R(\overline{\tau\alpha})\bar{H}_T\bar{\phi} = 31*50*0.78*0.96*15.8*10^6*0.68$$
$$N\sum \bar{Q}_u = 12.4[GJ]$$

و يكون التغير في درجة حرارة الخزان خلال شهر آذار :

$$\Delta T = \frac{(12.4-1.4-10.4)*10^9}{(4190\times 0.25\times 10^6)} = 0.6[^\circ C]$$

وبالتالي فإن درجة حرارة الخزان في نهاية الشهر أعلى بـ 0.6 من درجة الحرارة في بدايته. درجة الحرارة الوسطية مساوية للمفترضة[°C] 24.9 ، و درجة الحرارة النهائية [°C] 25.2 . درجة الحرارة في نهاية شهر آذار تعتبر من أجل بداية نيسان و بالتالي يعتمد عليها لتقدير درجة الحرارة الوسطية لهذا الشهر. هذه العملية يتم تكرارها من أجل كل أشهر السنة. عند نهاية شهر شباط (أي، بعد مرور سنة على بدء الحسابات) فإن درجة حرارة الخزان تعود إلى [°C] 24.6

وهي درجة الحرارة المفترضة البدائية نفسها. نتائج الحسابات السنوية موضحة في الجدول (5.3.5):

الجدول(4.3.5) المعلومات الشهرية الوسطية للأرصاد الجوية المعطاة في المثال (4.3.5):

الشهر	ρ	$\bar{T}_a + 2[^\circ C]$	DD[°C.days]	$\bar{H}[MJ/m^2]$	$\bar{K}_T$	$\bar{R}$	$\bar{R}_n$
آذار	0.4	1	602	12.89	0.500	1.23	1.12
نيسان	0.2	9	340	15.88	0.475	0.91	0.93
أيار	0.2	15	194	19.79	0.507	0.78	0.86
حزيران	0.2	21	79	22.11	0.535	0.72	0.83
تموز	0.2	23	50	21.96	0.547	0.74	0.85
آب	0.2	22	60	19.39	0.545	0.86	0.92
أيلول	0.2	17	140	14.75	0.518	1.07	1.03
تشرين 1	0.2	12	282	10.34	0.500	1.44	1.21
تشرين 2	0.2	4	508	5.72	0.395	1.69	1.18
كانون 1	0.4	4	743	4.42	0.374	1.92	1.28
كانون 2	0.7	-6	828	5.85	0.442	2.03	1.46
شباط	0.7	-5	695	9.13	0.490	1.69	1.38

الجدول(5.3.5) نتائج الحسابات السنوية للمثال (4.3.5)

	$\bar{X}_c$	$\bar{\phi}$	$N\sum \bar{Q}_u$ [GJ]	Q_{loss} [GJ]	Q_{load} [GJ]	T [C]
آذار	0.25	0.68	12.4	1.4	10.4	24.6
نيسان	0.21	0.72	11.7	1.6	5.9	25.2
أيار	0.19	0.72	12.9	2.1	3.4	29.2
حزيران	0.20	0.71	12.6	2.6	1.4	36.4
تموز	0.25	0.64	12.1	3.3	0.8	44.6
أب	0.32	0.6	10.8	3.6	1.0	52.1
أيلول	0.43	0.47	8.3	4.0	2.4	57.8
تشرين1	0.53	0.42	7.3	4.2	4.9	59.6
تشرين2	0.92	0.32	3.5	3.6	8.8	57.9
كانون1	0.99	0.34	3.3	2.9	12.8	49.4
كانون 2	0.55	0.48	6.6	2.1	14.3	37.5
شباط	0.34	0.60	9.8	1.4	12.0	28.2

و إذا لوحظت أية اختلافات في درجات الحرارة البدائية والنهائية، عندها لابد من إعادة الحسابات من أجل السنة حتى تتطابق الحسابات .

لم نقم بتحديد أي شيء بصدد المشكلة المتعلقة بمواصفات المبادل الحراري بين الخزان و المبنى . يمكننا أن نفترض أنه كبير بشكل كافي حتى يكون قادراً على تزويد المبنى بالطاقة اللازمة حتى في أيام الشتاء الباردة التي تنخفض درجة حرارة الخزان فيها إلى مستويات أعلى بقليل من درجة حرارة الغرفة المطلوب تأمينها . كما أن هنالك افتراضاً آخر يقول إن مساحة اللاقط و حجم

التخزين كبيران بشكل كافٍ ليضمن درجة حرارة مرتفعة في الخزان تؤدي إلى تأمين الحمل المطلوب . التحليل الأكثر شمولية يجب أن يتضمن مواصفات المبادل الحراري الخاص بالحمل، و الطاقة الواصلة للحمل يجب أن تحسب كحرارة منتقلة و ليس كحمل حراري خاص بالبناء .

كما أن هنالك تطبيقات أخرى متعددة لطريقة $\bar{\phi}$ تتضمن عمليات كثيرة مثل: تسخين برك السباحة وأنظمة التسخين الشمسي(Active) والأبنية ذات التخزين الذاتي الشمسي(Passive) والتي يظهر فيها التسخين الزائد بسبب عدم المهارة في استخدام الطاقة والتي لا يمكن تخزينها في كتلة البناء والأنظمة الهجينة، والأنظمة الفوتوفولطية.

بعض هذه التطبيقات ستتم مناقشتها لاحقاً .أما في القسم الآتي فسنقوم بتوصيف طريقة مختلطة مؤلفة من طريقة $\bar{\phi}$ و طريقة أخرى مرتبطة بها وقابلة للتطبيق على عدة مشاكل (دراسات هندسية) أخرى .

4.5 : طريقة f –Chart، $\bar{\phi}$

مفهوم تصميم الفائدة(Utilizabilty) يكون مفيداً في حال كان اللاقط الشمسي يعمل عند مستوى إشعاع فوق حرج معروف على مدار الشهر . عموماً فإنه يتم في النظام العملي وصل اللاقط إلى خزان التخزين وبما أن الحسابات تتم على أساس شهري وبسبب أنه يعتمد بيانات الإشعاع الشهرية وبالأخذ بعين الاعتبار زمن توزع الحمل فهذا يُسبّب حدوث تذبذُب في درجة حرارة خزان التخزين وبالنتيجة حدوث اختلاف في مستوى الإشعاع الحرج. تم تطوير طريقة f –Chart لتتغلب على القيود الناتجة عن المستويات الحرجة المستمرة ولكن استخدامها محصور بالأنظمة التي تغذي الحمل بالطاقة عند درجة حرارة حوالي الـ [°C] 20 .

قام { klein and BecKman (1979)} بتوحيد مفهوم الفائدة والتي تم شرحها في المقطع السابق مع f–chart لإنتاج طريقة تصميم $\bar{\phi}, f-chart$ من أجل أنظمة الطاقة الشمسية المغلقة الدارة، المبينة في الشكل(1.4.5). الطريقة ليست مقيدة بأحمال عند الدرجة [°C] 20. في هذا النظام، تمّ الافتراض أنه قد تمّ ضغط الخزان و ذلك للحيلولة دون حدوث (dumping) تهريب في الطاقة أو ملء خزان التخزين بسائل ذي درجة غليان عالية لذلك لن يحدث أي تهريب للطاقة عبر صمّام الأمان. يتم وصل السخّان الإضافي على التوازي مع نظام الطاقة الشمسية وذلك لتغطية أي عجز طاقي يمكن حدوثه في النظام الشمسي. في هذه الأنظمة،

يجب أن تكون الطاقة المُزودة للحمل عند درجة أعلى من درجة الحرارة الأصغرية المحددّة T_{min}، ويجب استخدامها عند مردود حراري ثابت أو معامل أداء ثابت وبذلك يمكن تخمين حمل نظام الطاقة الشمسية. إن درجة الحرارة العائدة من الحمل تكون دائماً أكبر أو تساوي T_{min}. بما أن أداء المضخة الحرارية أو المحرك الحراري (محرك رانكين) يختلف تبعاً لمستوى درجة حرارة الطاقة المُقدّمة، فهذه الطريقة التصميمية غير مناسبة لمثل هذا النوع من التطبيقات. على أية حال إنها مفيدة عند امتصاص سوائل التبريد، وفي العمليات الصناعية الحرارية، وفي أنظمة تدفئة المكان.

الشكل (1.4.5) : شكل تخطيطي لنظام طاقة شمسي بدارة مغلقة

المتوسط الشهري للطاقة اليومية العظمى التي يمكن تأمينها بواسطة أنظمة من هذا النوع تعطى بالعلاقة:

$$\sum \bar{Q}_{u,max} = A_c F_R (\overline{\tau\alpha}) H_T \bar{\phi}_{max} \qquad (1.4.5)$$

وهي مشابهة للمعادلة (6.3.5) في طريقة الفائدة إلا أننا استبدلنا $\bar{\phi}$ بـ $\bar{\phi}_{max}$ القيمة الأعظمية للفائدة اليومية تحسب من القيمة الصغرى لمعدل الإشعاع المتوسط الحرج الشهري:

$$\bar{X}_c = \frac{F_R U_L (T_{\min} - \bar{T}_a) / F_R(\overline{\tau\alpha})}{r_{t,n} R_n \bar{H}} \qquad (2.4.5)$$

الطريقة المتبعة في حساب $\bar{\phi}_{\max}$ هي تماماً الطريقة نفسها الموضحة في المثال (4.3.5) بطريقة الفائدة.

قام كل من (Klein and Beckman 1979) من أجل حجوم تخزين مختلفة و مساحة اللاقط، بربط نتائج عدة عمليات محاكاة تفصيلية لأنظمة مشابهة للموضح بالشكل (1.4.5) بمتحولين لابعديين. هذان المتحولان مُشابهان للمتحوّلين الموجودين في f–chart لكنهما غير متطابقين تماماً. مثلاً استبدل المتحول Y في f–Chart بالمتحول $\bar{\phi}_{\max} Y$:

$$\bar{\phi}_{\max} \mathrm{Y} = \bar{\phi}_{\max} \frac{A_c F_R (\overline{\tau\alpha}) \bar{H}_T N}{L} \qquad (3.4.5)$$

ويتم استبدال البارامتر اللابُعدي X (المحور الأفقي من f–chart) بالمتحوّل اللابُعدي المُعدّل 'X وتعطى بالعلاقة:

$$X' = \frac{A_c F_R U_L (100) \Delta t}{L} \qquad (4.4.5)$$

التغير في معادلة X هو استبدال القيمة ($\bar{T}_a$ – 100) بالثابت التجريبي (100) (أو 180 إذا تم استخدام الواحدات الانكليزية).

الشكل (1a–d.4.5) يمثل $\bar{\phi}, f-\mathrm{Charts}$ من أجل أربع نسب مختلفة من (حجم الخزان – مساحة اللاقط) و المعلومات في هذه الأشكال يمكن تمثيلها بشكل تحليلي باستخدام العلاقة :

$$f = \bar{\phi}_{\max} \mathrm{Y} - 0.015(\mathrm{e}^{3.85f} - 1)\left(1 - \mathrm{e}^{-0.15X'}\right)\left(\mathrm{R_s}\right)^{0.76} \qquad (5.4.5)$$

حيث:

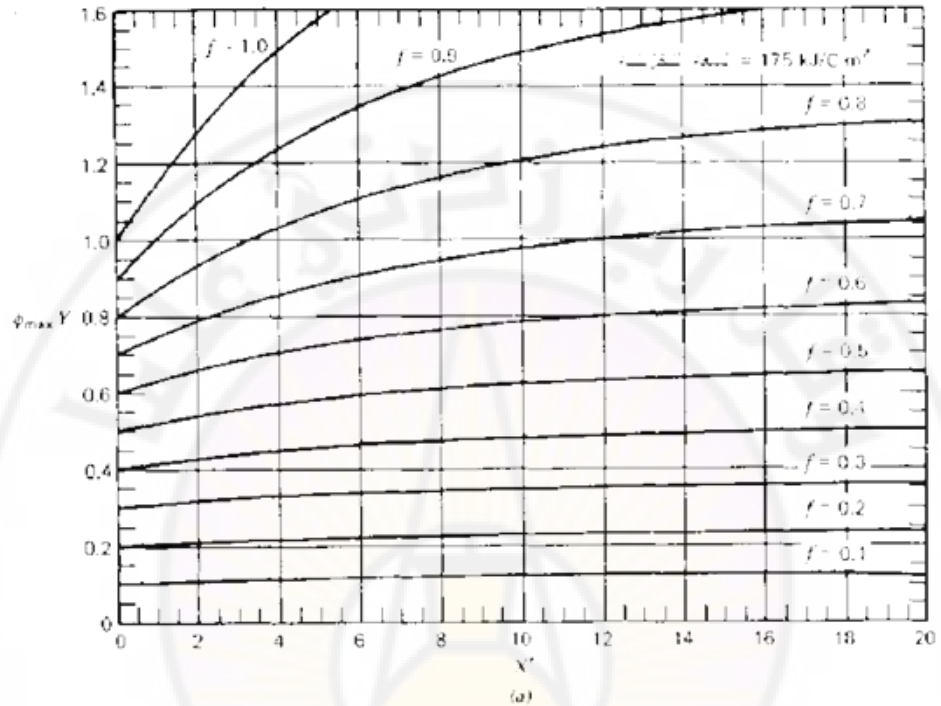
R_s هي نسبة السعة الحرارية التخزينية القياسية لواحدة مساحة اللاقط $350[kJ/m^2.^\circ C]$ إلى السعة التخزينية الفعلية المعطاة من قبل (klein & Beckman,1979) بالعلاقة (6.4.5):

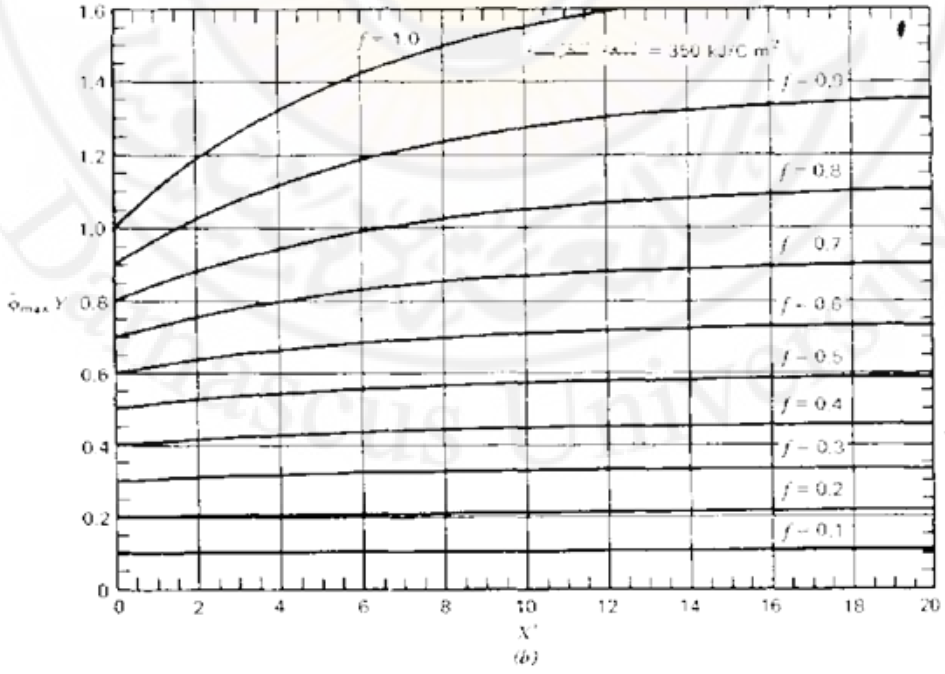
$$R_S = \frac{350}{MC_p / A_c} \qquad (6.4.5)$$

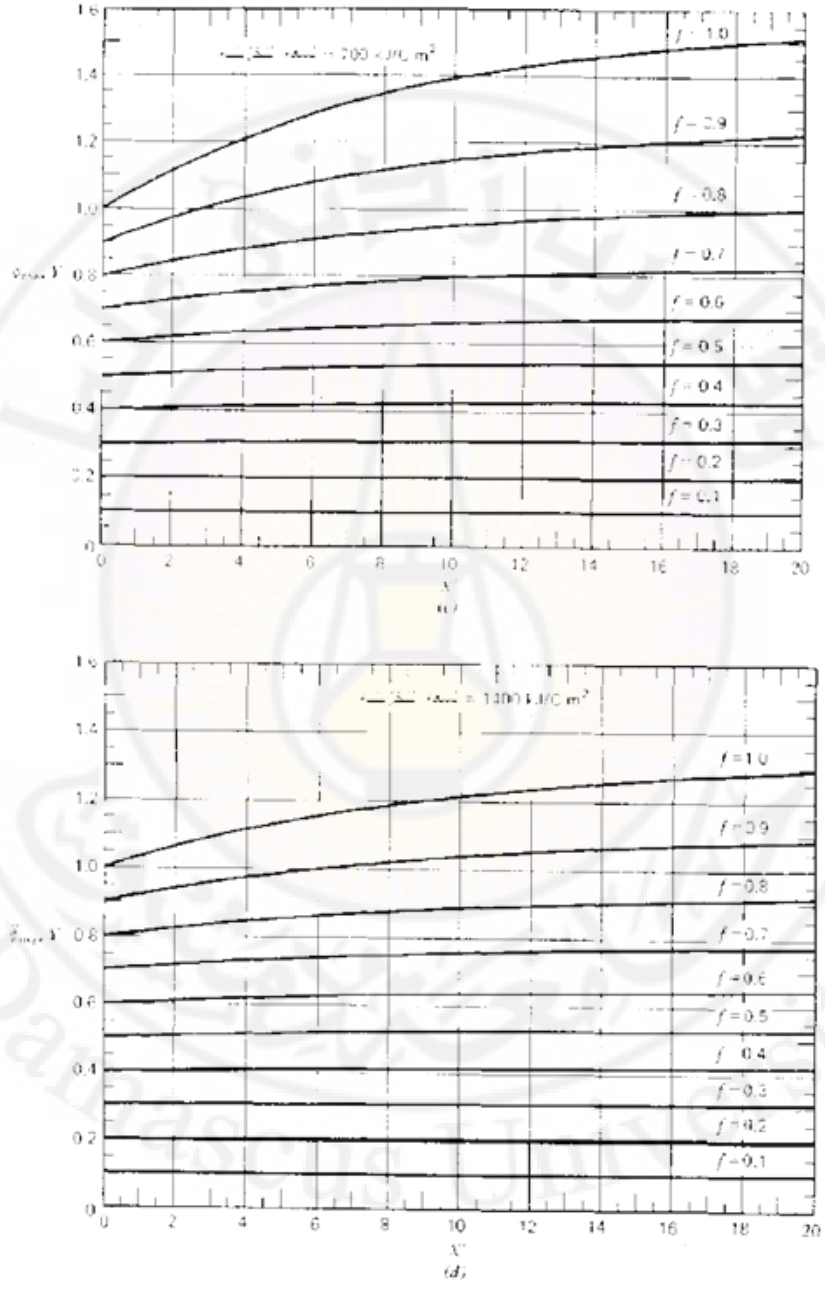
حيث:

M [Kg] : الكتلة الحقيقية لسعة التخزين.

على الرغم من أن f تدخل بشكل ضمني في طرفي المعادلة (5.4.5)، فإنه يمكن بسهولة نسبياً حساب قيمة f باستخدام طريقة نيوتن أو طريقة الفرض و الخطأ. تعطى $\bar{\Phi}, f-charts$ لسعات تخزين متنوّعة. إن قيم X ، $\bar{\phi}_{\max} Y$ تحتاج إلى حسابات من بيانات الإشعاع الشمسي طويلة الأمد والمُتعلّقة بالموقع الجغرافي الخاص وأنماط الحمل. كما ذكرنا أن fL هي نسبة المساهمة الشهرية من نظام الطاقة الشمسية ومن الممكن جمع القيم الشهرية وتقسيمها على الحمل السنوي الإجمالي للحصول على الحصة السنوية F. تحدد قيمة f بعدها من الأشكال السابقة أو من المعادلة (5.4.5) .


f = 1.0
f = 0.9
f = 0.8
f = 0.7
f = 0.6
f = 0.5
f = 0.4
f = 0.3
f = 0.2
f = 0.1
$\phi_{max}Y$
X'
(a)


f = 1.0
f = 0.9
f = 0.8
f = 0.7
f = 0.6
f = 0.5
f = 0.4
f = 0.3
f = 0.2
f = 0.1
$\phi_{max}Y$
X'
(b)



الشكل (1.4.5) Ø. f –Charts من أجل نسب مختلفة من (سعة التخزين– مساحة اللاقط) (Klein and Beckman) (1979)

مثال (1.4.5) :

احسب التغطية السنوية لنظام طاقة شمسية لمصنع مركب في (Omaha). زاوية خط العرض (41°) والطاقة اللازمة عند درجة حرارة أعلى من [°C] 60 و بمعدل [KW] 12 لفترة 12 ساعة يومياً. متوسط درجة حرارة الوسط المحيط الشهرية ومتوسط الإشعاع الشمسي اليومي الشهري على سطح أفقي معطاة في الجدول التالي. والمواصفات الحرارية للاقط والمبادل تعطى على الشكل التالي :

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0.72, \quad F_R U_L = 2.63\ [W/m^2.C]$$

$$, \quad F_R = 0.8, \quad (\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n = 0.94$$

زاوية ميل اللواقط 40° عن الأفق و الخزان يحوي 4180 لتر من الماء $A_c = 50\ [m^2]$

$\therefore \gamma = 0$

الحل :

ستتم الحسابات التفصيلية لشهر كانون الثاني. نتائج الحسابات المتوسطة لكل الأشهر معطاة في الجدول (1.4.5). يحسب الإشعاع الساقط على السطح المائل باعتبار انعكاسية الأرض 0.2 ، من أجل شهر كانون الثاني:

$$\bar{H}_o = 14.6\ MJ/m^2, \quad \bar{H} = 8.6[MJ/m^2]$$

يجب حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل وبذلك يجب حساب معامل الوضوح $\bar{K}_T$:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} = \frac{8.6}{14.6} = 0.59$$

حساب زاوية غروب الشمس على سطح أفقي:

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan\phi\tan\delta] = \cos^{-1}[-\tan 41\tan(-20.9)] = 70.61°$$

حساب زاوية غروب الشمس على سطح مائل:

$$\omega_s' = \min\left\{\omega_s, \cos^{-1}[-\tan(\phi-\beta)\tan\delta]\right\} = (70.61, 89.61) = 70.61°$$

حساب $\bar{R}_b$:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin(\omega_s') - (\pi/180)\omega_s'\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos(\phi)\cos\delta\sin(\omega_s) - (\pi/180)\omega_s\sin(\phi)\sin\delta}$$

$$= \frac{\cos(41-40)\cos(-20.9)\sin(70.61) - (\pi/180)(70.61)\sin(41-40)\sin(-20.9)}{\cos(41)\cos(-20.9)\sin(70.61) - (\pi/180)(70.61)\sin(41)\sin(-20.9)}$$

$$\bar{R}_b = 2.32$$

حساب $\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}$:

$$For\ \omega_s \le 81.4°, and\ 0.3 \le \bar{K}_T \le 0.8$$

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = \left\{1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3\right\}$$

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = \left\{1.391 - 3.560*0.59 + 4.189*(0.59)^2 - 2.137(0.59)^3\right\}$$

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 0.31$$

حساب $\bar{R}$

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)\bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$

$$= (1-0.31)(2.32) + (0.31)\left(\frac{1+\cos 40}{2}\right) + (0.2)\left(\frac{1-\cos 40}{2}\right) = 1.9$$

وبذلك تكون شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل:

$$\bar{H}_T = \bar{R}.\bar{H} = 1.9*8.6 = 16.34[MJ/m^2]$$

حساب نسبة الإشعاع المنتشر الساعي $r_{d,n}$ إلى الإشعاع المنتشر اليومي و نسبة الإشعاع المنتشر الكلي r_n إلى الإشعاع المنتشر الكلي:

$$\alpha = 0.409 + 0.5016 \times \sin(\omega_s - 60)$$
$$= 0.409 + 0.5016 \times \sin(70.61 - 60) = 0.50$$
$$\beta = 0.6609 - 0.4767 \times \sin(\omega_s - 60)$$
$$= 0.6609 - 0.4767 \times \sin(70.61 - 60) = 0.75$$

$$r_n = \frac{\pi}{24}(\alpha - \beta\cos\omega)\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$= \frac{\pi}{24}(0.5 - 0.57\cos 0)\frac{\cos 0 - \cos(70.61)}{\sin(70.61) - \left(\frac{2\pi 70.61}{360}\right)\cos(70.61)} = 0.176$$

$$r_{d,n} = \frac{\pi}{24}\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\right)\cos\omega_s}$$

$$= \frac{\pi}{24}\frac{\cos 0 - \cos 70.61}{\sin 70.61 - \left(\frac{2\pi 70.61}{360}\right)\cos 70.61} = 0.164$$

$$R_{b,n} = \frac{\sin(\phi - \beta)\sin\delta + \cos(\phi - \beta)\cos\delta\cos\omega}{\sin(\phi)\sin\delta + \cos(\phi)\cos\delta\cos\omega}$$

$$= \frac{\sin(41 - 40)\sin(-20.9) + \cos(41 - 40)\cos(-20.9)\cos 0}{\sin(41)\sin(-20.9) + \cos(41)\cos(-20.9)\cos 0} = 1.97$$

ليوم وسطي $K_T = 0.59$ ، تكون نسبة الإشعاع المبعثر إلى الإشعاع الكلي :
$H_d / H = 0.38$. عند الظهيرة ، نسبة الإشعاع على سطح مائل إلى الإشعاع على سطح أفقي من أجل يوم اعتيادي من الشهر :

$$R_n = \left(1 - \frac{r_{d,n} H_D}{r_n H}\right) R_{B,n} + \left(\frac{r_{d,n} H_D}{r_n H}\right)\left[\frac{1+\cos\beta}{2}\right] + \rho_g\left[\frac{1-\cos\beta}{2}\right]$$

$$-\left(1 - \frac{0.164\times 0.38}{0.176}\right) 1.97 + \left(\frac{0.164\times 0.38}{0.176}\right)\left[\frac{1+\cos 40}{2}\right] + 0.2\left[\frac{1-\cos 40}{2}\right] = 1.61$$

$$\Rightarrow R_n / \bar{R} = 1.61 / 1.9 = 0.85$$

المتوسط الشهري لمعامل النفوذية-الامتصاص منسوبا إلى قيمتها عند الورود الطبيعي :

$$\overline{\tau\alpha} / (\tau\alpha)_n = 0.94$$

و من المعادلة(2.4.5) نجد أن المستوى الحرج عند درجة الحرارة الصغرى المفيدة :

$$\bar{X}_c = \frac{F_R U_L (T_{min} - \bar{T}_a) / F_R(\overline{\tau\alpha})}{r_{d,n} R_n \bar{H}}$$

$$\frac{F_R U_L (T_{min} - \bar{T}_a) / [F_R(\overline{\tau\alpha})_n \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\overline{\tau\alpha})_n}]}{r_{d,n} R_n \bar{H}} = \frac{2.63[60-(-5)]/(0.72\times 0.94)}{(0.176\times 1.61\times 8.6\times 10^6/3600)} = 0.37$$

يمكن إيجاد القيمة $\bar{\phi}_{max}$ من المعادلات (24.3.5):
حيث :

$$A = 2.943 - 9.271\bar{K}_T + 4.031\bar{K}_T^2$$
$$A = 2.943 - 9.271(0.59) + 4.031(0.59)^2 = -1.123$$
$$B = -4.345 + 8.853\bar{K}_T - 3.602\bar{K}_T^2$$
$$B = -4.345 + 8.853(0.59) - 3.602(0.59)^2 = -0.376$$
$$C = -0.170 - 0.306\bar{K}_T + 2.936\bar{K}_T^2$$
$$C = -0.170 - 0.306(0.59) + 2.936(0.59)^2 = 0.672$$

$$\phi_{max} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{\bar{R}}\right)\right]\left[\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2\right]\right\}$$
$$\bar{\phi}_{max} = \exp\left\{\left[(-1.123 - 0.376(0.85)\right]\left[0.37 + 0.672*(0.37)^2\right]\right\} = 0.51$$

من المعادلة (3.4.5) :

$$Y = \frac{A_c F_R(\overline{\tau\alpha})\bar{H}_T N}{L} = \frac{50*0.72*0.94*1.90*10^6*31}{12000*12*3600*31} = 1.07$$
$$\phi_{max} Y = 0.51*1.07 = 0.54$$

من المعادلة (4.4.5) :

$$X_c = \frac{A_c F_R U_L (100)\Delta t}{L} = \frac{50*2.63*100*3600*31*24}{12000*12*31*3600}$$
$$= 2.19$$

وتبقى ثابتة على مدار العام. السعة التخزينية لكل وحدة مساحة من اللاقط تكون:

$$\frac{mC_p}{A_c} = \frac{4180*4190}{50} = 350[KJ/m^2.^\circ C]$$

وبالتالي يمكن استخدام الشكل (1b.4.5) لإيجاد قيمة f أو يمكن استخدام المعادلة (5.4.5) ولكن من الضروري استخدام طريقة حل الخطأ والصواب:

$$f = \bar{\phi}_{\max} Y - 0.015(e^{3.85f} - 1)\left(1 - e^{-0.15X'}\right)\left(R_{_}\right)^{0.76}$$

$$f = 0.54 - 0.015(e^{3.85f} - 1)\left(1 - e^{-0.15*2.19}\right)\left(R_{_}\right)^{0.76} = 0.52$$

$$X' = 2.19, \qquad \bar{\phi}_{\max} Y = 0.54, \qquad f = 0.52$$

إن حمل شهر كانون الثاني المزود بالطاقة الشمسية يكون: $0.52 \times 16.1 = 8.3[GJ]$.

أما بقية الأشهر فيبينها الجدول (1.4.5). التغطية الشمسية في العمود 22 ، الطاقة من الشمس تقسم على العمود 21 وبذلك يكون الحمل السنوي:

$$F = \frac{127.2}{189.2} = 0.67$$

الجدول (1.4.5) البيانات المناخية والأحمال الحرارية والتغطية الشمسية السنوية للمثال (1.4.5):

	اليوم في الشهر	T_a [°C]	$\bar{H}_o$	$\bar{H}$	$\bar{R}_b$	$\bar{K}_1$	$\frac{H}{\bar{H}}$	$\bar{R}$	$r_{1,n}$	$r_{d,n}$	$R_{b,n}$	R_n
كانون2	17	-5	14.6	8.6	2.3	0.5	0.3	1.9	0.17	0.164	1.9	1.61
شباط	16	-3	20.0	11.6	1.8	0.5	0.3	1.5	0.16	0.148	1.6	1.39
آذار	16	3	27.0	14.9	1.4	0.5	0.3	1.2	0.14	0.134	1.3	1.16
نيسان	15	10	34.4	19.4	1.0	0.5	0.3	1.0	0.13	0.121	1.1	1.06
أيار	15	17	39.6	21.5	0.8	0.5	0.3	0.9	0.12	0.112	1.0	0.98
حزيران	11	22	41.8	23.6	0.8	0.5	0.3	0.8	0.11	0.109	0.9	0.96
تموز	17	25	40.6	23.8	0.8	0.5	0.3	0.8	0.12	0.110	1.0	0.97

آب	16	23	-2	36.3	21.8	0.9	0.6	0.3	0.9	0.117	1.1	1.04
ايلول	15	19	4	29.6	16.6	1.2	0.5	0.3	1.1	0.128	1.2	1.12
تشرين1	15	12	4	22.0	12.3	1.6	0.5	0.3	1.4	0.143	1.5	1.26
تشرين2	14	4	8	15.8	8.3	2.1	0.5	0.3	1.7	0.159	1.8	1.42
كانون1	10	-2	13	13.1	8.0	2.5	0.5	0.3	1.9	0.169	2.0	1.55

	$\frac{R_{\alpha}}{R}$	$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)}$	$\overline{X}_c$ [min]	$\overline{\phi}$ [min]	Y	$\overline{\phi}$ [max]	X'	F	L [GJ]	fL [GJ]
كانون2	0.85	0.9	0.37	0.51	1.0	0.54	2.19	0.52	16.1	8.3
شباط	0.90	0.9	0.34	0.55	1.1	0.64	2.19	0.60	14.5	8.7
آذار	0.95	0.9	0.32	0.57	1.1	0.68	2.19	0.63	16.1	10.2
نيسان	1.03	0.9	0.26	0.63	1.2	0.81	2.19	0.74	15.6	11.6
أيار	1.08	0.9	0.24	0.66	1.2	0.81	2.19	0.74	16.1	11.9
حزيران	1.11	0.9	0.21	0.70	1.2	0.88	2.19	0.80	15.6	12.4
تموز	1.10	0.9	0.18	0.73	1.3	0.87	2.19	0.86	16.1	13.8
آب	1.06	0.9	0.18	0.73	1.3	0.99	2.19	0.88	16.1	14.1
ايلول	0.98	0.9	0.22	0.69	1.2	0.84	2.19	0.76	15.6	11.9
تشرين1	0.90	0.9	0.28	0.62	1.1	.070	2.19	0.65	16.1	10.5
تشرين2	0.82	0.9	0.39	0.53	0.9	0.49	2.19	0.46	15.6	7.2
كانون1	0.80	0.9	0.44	0.48	0.8	0.42	2.19	0.41	16.1	6.6
المجموع								189.6		127.2

مثال (2.4.5):

نظام حراري لعملية صناعية ذو مجمّع مساحته $50\ m^2$. وهذا النظام يتوضّع في نيقوسيا–قبرص ذو خط عرض $35°\ N$ ، وصفات المجمع هي : $F_RU_L = 5.92\ [W/m^2-°C]$ ، $F_R(\tau\alpha)_n = 0.82$، يميل على الأفق بزاوية $40°$، وزجاج مضاعف. والعملية تتطلب حرارة بمعدّل 15[KW] عند درجة 70 [°C] و لمدة عشر ساعات يوميا. احسب التغطية الشمسية الشهرية والسنوية. معلومات إضافية: $(\tau\alpha)_n = 0.96$، حجم الخزان = 5000 L. و شروط الطقس موضحة في الجدول(2.4.5). المعلومات في العمود الأخير مأخوذة من المعادلة التالية:

$$\bar{K}_T = \bar{H} / \bar{H}_o$$

الجدول (2.4.5) البيانات المناخية للحالة المدروسة:

الشهر	$\bar{H}[MJ/m^2]$	$\bar{T}_a[°C]$	$\bar{K}_T$	$\bar{H}_o[MJ/m^2]$
كانون 1	8.96	12.1	0.49	18.29
شباط	12.38	11.9	0.53	23.36
آذار	17.39	13.8	0.58	29.98
نيسان	21.53	17.5	0.59	36.49
ايار	26.06	21.5	0.65	40.09
حزيران	29.20	25.8	0.70	41.71
تموز	28.55	29.2	0.70	40.79
آب	25.49	29.1	0.68	37.19
ايلول	21.17	26.8	0.66	32.08
تشرين 1	15.34	22.7	0.60	25.57
تشرين 2	10.33	17.7	0.53	19.49
كانون 1	7.92	13.7	0.47	16.85

الحل:

لتبسيط الحل فإن غالبية النتائج معطاة في الجدول(3.4.5). تعطى $\bar{R}_b$ في المعادلة (12.2.5) ، كذلك $\bar{H}_D / \bar{H}$ معطاة في المعادلتين (13.2.5)، R معطاة في المعادلة (11.2.5).

r_d ، $r_{d,n}$ تُعطيان في المعادلتين (12.3.5) و(13.3.5) عند الظهر الشمسي(ω=0°).

$R_{B,n}$ تعطى في المعادلة التالية عند الظهر الشمسي:

$$R_{B,n} = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{\sin(\phi-\beta)\sin\delta + \cos(\phi-\beta)\cos\delta.\cos\omega}{\sin(\phi)\sin\delta + \cos(\phi)\cos\delta.\cos\omega}$$

عند وقت الظهيرة ، $\bar{H}_D / \bar{H}$ تعطى في المعادلة(22.3.5)،R_n تعطى في المعادلة(21.3.5).

بعد ذلك تمّ توضيح البيانات المتعلّقة بشهر كانون الثاني. أولا نحن بحاجة إلى تحديد قيمة $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ لذلك يلزمنا من أجل تحديد القيمة معرفة $\bar{S}$. ومن ثمّ تطبيق المعادلة (6.2.5) لإيجاد البارامتر المطلوب. نحسب $\theta_{c,D}$ و $\theta_{c,G}$ من المعادلات التالية:

$$\theta_{c,D} = 59.68 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2$$
$$-59.68 - 0.1388\times 40 + 0.001497(40)^2 - 57°$$
$$\theta_{c,G} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2$$
$$= 90 - 0.5788(40) + 0.002693(40)^2 = 71°$$

الجدول (3.4.5) نتائج عوامل الاشعاع الشمسي:

الشهر	$\bar{R}_B$	$\frac{H_D}{H}$	$\bar{R}$	r_n	$r_{d,n}$	$R_{b,n}$	$\frac{H_D}{H}$	R_b
كانون 2	1.989	0.40	1.570	0.168	0.156	1.716	0.590	1.283
شباط	1.624	0.36	1.381	0.156	0.144	1.429	0.505	1.225

آذار	1.282	0.36	1.161	0.144	0.133	1.258	0.469	1.119
نيسان	1.000	0.35	0.982	0.133	0.123	1.074	0.450	1.018
أيار	0.827	0.29	0.867	0.126	0.116	0.953	0.336	0.955
حزيران	0.757	0.25	0.812	0.122	0.112	0.929	0.235	0.927
تموز	0.787	0.25	0.834	0.124	0.114	0.924	0.335	0.939
آب	0.921	.027	0.934	0.130	0.120	1.020	0.276	1.008
أيلول	1.160	0.29	1.103	0.140	0.129	1.180	0.316	1.117
تشرين 1	1.503	0.34	1.316	0.152	0.141	1.400	0.432	1.216
تشرين 2	1.885	0.36	1.548	0.164	0.153	1.648	0.505	1.317
كانون 1	2.113	0.42	1.620	0.171	0.159	1.797	0.630	1.285

من الشكل (2.2.5) و من أجل مُجمّع ذو زجاج مضاعف $(\overline{\tau\alpha}_D)/(\tau\alpha)_n = 0.87$

لذلك : $(\overline{\tau\alpha}_D) = 0.87 \times (\tau\alpha)_n = 0.87 \times 0.96 = 0.835$

$$(\overline{\tau\alpha}_G)/(\tau\alpha)_n = 0.57$$

$$(\overline{\tau\alpha}_G) = 0.57 \times (\tau\alpha)_n = 0.57 \times 0.96 = 0.547$$

وهذه القيم تبقى ثابتة لكافة الأشهر . الحسابات لشهر كانون الثاني هي كما يلي:

$$(\tau\alpha)_B = (\tau\alpha)_n \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = 0.96 \times 0.96 = 0.922$$

و من البيانات الموضّحة في الجداول السابقة :

$$H_D = H \frac{H_D}{H} = 8.96 \times 0.40 = 3.58[MJ/m^2]$$

$$\overline{H}_B = \overline{H} - \overline{H}_D = 8.96 - 3.58[MJ/m^2]$$

$$(\overline{\tau\alpha}) = \frac{\bar{S}}{\bar{H}_t} = \frac{\bar{S}}{\bar{H}\bar{R}} = \frac{12.62}{8.96 \times 1.570} = 0.90$$

و

$$\bar{S} = \bar{H}_b \bar{R}_b (\tau\alpha)_b - \bar{H}_{d,h} (\tau\alpha)_{d,h} \left[\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right] + \bar{H}\rho_G (\tau\alpha)_G \left[\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right]$$

$$- 5.38 \times 1.989 \times 0.922 - 3.58 \times 0.835 \left[\frac{1-\cos(40)}{2}\right] - 8.96 \times 0.2 \times 0.547 \left[\frac{1-\cos(40)}{2}\right]$$

$$= 12.62 [MJ/m^2]$$

الجدول(4.4.5) نتائج $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ لكل الاشهر:

الشهر	$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$	$(\overline{\tau\alpha})_n$	$\bar{S}[MJ/m^2]$	$(\overline{\tau\alpha})$	$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$
كانون 2	0.96	0.922	12.62	0.90	0.94
شباط	0.96	0.922	15.31	0.90	0.94
آذار	0.95	0.912	17.85	0.88	0.92
نيسان	0.93	0.893	18.33	0.87	0.91
أيار	0.92	0.883	19.42	0.86	0.90
حزيران	0.91	0.874	20.25	0.85	0.89
تموز	0.91	0.874	20.36	0.86	0.90
آب	0.92	0.883	20.53	0.86	0.90
أيلول	0.93	0.893	20.37	0.87	0.91
تشرين 1	0.95	0.912	17.92	0.89	0.93
تشرين 2	0.96	0.922	14.36	0.90	0.94
كانون 1	0.96	0.922	11.50	0.90	0.94

باستطاعتنا الآن أن نباشر الحسابات وفق طريقة $\Phi, f-chart$. مجدّدا فإن الحسابات لشهر كانون الثاني ستظهر بالتفصيل (فيما يلي). إن النسبة الوسطية الأصغرية للإشعاع الحرج الشهرية تكون حسب المعادلة (23.3.5):

$$\bar{X}_{c,\min}=\frac{F_R U_L (T_{\min}-\bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})/r_n R_n \bar{K}_T \bar{H}_o}=\frac{F_R U_L (T_{\min}-\bar{T}_a)}{F_R(\tau\alpha)_n}\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$$

$$=\frac{5.92\times 3600(70-12.1)}{0.82\times 0.94}{0.168\times 1.283\times 0.49\times 18.29\times 10^6}=0.83$$

و من المعادلة (24.3.5):

$$A=2.943-9.271\bar{K}_T+4.031\bar{K}_T^2$$
$$=2.943-9.271\times 0.49+4.031(0.49)^2=-0.6319$$
$$B=-4.345+8.853\bar{K}_T-3.602\bar{K}_T^2$$
$$=-4.345+8.853\times 0.49-3.602(0.49)^2=-0.8719$$
$$C=-0.170-0.306\bar{K}_T+2.936\bar{K}_T^2$$
$$=-0.170-0.306(0.49)+2.936(0.49)^2=0.3850$$

$$\bar{\Phi}_{\max} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{R}\right)\right]\left[\bar{X}_c + C\bar{X}_c^2\right]\right\}$$

$$= \exp\left\{\left[-0.6319 - 0.6719\left(\frac{1.283}{1.570}\right)\right]\left[0.83 + 0.3850(0.83)^2\right]\right\}$$

$$0.229$$

والحمل الناتج لشهر كانون الثاني:

$$15*10*3600*31=16.74*10^6[\text{kJ}]=16.74[\text{GJ}]$$

من العلاقة (3.4.5):

$$\bar{\Phi}_{\max} Y = \bar{\Phi}_{\max}\frac{A_c F_R(\tau\bar{\alpha}).NH_t}{L}$$

$$= \bar{\Phi}_{\max}\frac{A_c F_R\dfrac{(\tau\bar{\alpha})}{(\tau\alpha)_n}N\bar{H}\bar{R}}{L}$$

$$= 0.229\frac{50\times 0.82\times 0.94\times 31\times 8.96\times 10^6\times 1.570}{16.74\times 10^9} = 0.23$$

و من العلاقة (4.4.5):

$$X' = \frac{A_c F_R U_l (100)\Delta t}{L} = \frac{50\times 5.92\times 100\times 24\times 31\times 3600}{16.74\times 10^9} = 4.74$$

ومن المعادلة (6.4.5) فإن معامل التخزين R_S :

$$R_S = \frac{350}{\dfrac{Mc_p}{A_c}} = \frac{350}{\dfrac{5000\times 4.19}{50}} = 0.835$$

أخيراً فإنه من الممكن حساب قيمة f من العلاقة (5.4.5) . المساهمة بالطاقة الشمسية فهو fL . يتم إظهار حسابات بقية الأشهر في الجدول (5.4.5) ، حيث أن استعمال برنامج جدولي سوف يُسهّل الحسابات كثيرا .

الجدول (5.4.5) نتائج الحسابات الشهرية للموقع المعطى بالمثال:

	$\bar{X}_{c,min}$	$\bar{\phi}_{max}$	$\bar{\phi}_{max}Y$	X'	L [GJ]	f	$f.L$ [GJ]
كانون2	0.83	0.229	0.230	4.74	16.74	0.22	3.68
شباط	0.68	0.274	0.331	1.71	15.12	0.32	1.81
آذار	0.57	0.315	0.445	4.74	16.74	0.42	7.03
نيسان	0.51	0.355	0.519	4.74	16.20	0.48	7.78
ايار	0.45	0.390	0.602	1.71	16.71	0.55	9.21
حزيران	0.39	0.445	0.713	4.74	16.20	0.64	10.37
تموز	0.35	0.494	0.804	4.74	16.74	0.71	11.89
اب	0.35	0.497	0.809	4.74	16.74	0.71	11.89
ايلول	0.37	0.478	0.771	4.74	16.20	0.68	11.02
تشرين1	0.47	0.398	0.567	4.74	16.74	0.52	8.70
تشرين2	0.65	0.300	0.342	4.74	16.20	0.32	5.18
كانون1	0.89	0.222	0.203	4.74	16.74	0.20	3.35
				المجموع	197.10	المجموع	94.94

يتم تحديد الحصّة السنوية من العلاقة (8.2.5) :

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} = \frac{94.94}{197.10} = 0.482 \quad or\ 48.2\%$$

يجب الإشارة أن طريقة $\bar{\Phi}, f - charts$ تعطي تقديراً مبالغاً فيه للتغطية الشمسية الشهرية f، إن f تعني وجود افتراضات أنه لا يوجد هناك ضياعات من خزان التخزين حيث أن كفاءة المبادل الحراري هي 100% . و هذه الافتراضات تعتمد وجود تعديلات معينة، والتي هي كالتالي :

1.4.5 تعديل الضياعات في خزان التخزين :

حسابات Ø. f –Charts تعطي قيما مبالغا فيها لـ f و ذلك نتيجة للافتراضات المأخوذة فيها و أهمها إهمال الضياعات الحرارية من الخزان وأن المبادل الحراري الخاص بالحمل لا متناهي الحجم . من الممكن القيام بعدد من التصحيحات التي قد تلغي أثر هذه الافتراضات. معدل الضياع الحراري من الخزان إلى الوسط المحيط عند درجة حرارة T'_a يعطى بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_{s,l} = (UA)_s (T_s - T'_a) \qquad (7.4.5)$$

وإذا كان كل من T'_a و $(UA)_s$ ثابتين من أجل شهر ما، وعند مكاملة العلاقة(7.4.5) ضمن مجال الشهر، فإننا سنحصل على الضياعات الشهرية من الخزان :

$$Q_{s,l} = (UA)_s (\bar{T}_s - T'_a)\Delta T \qquad (8.4.5)$$

حيث :

$\bar{T}_s$ [°C] : المعدل الشهري لدرجة الحرارة في الخزان.

لذلك فإن الحمل الكلي المطلوب من نظام الطاقة الشمسية هو الحمل الحقيقي اللازم لعملية التخزين و لضياعات خزان التخزين. لأن خزانات التخزين عادة معزولة جيدا، فإن ضياعات خزان التخزين تكون صغيرة و نادراً ما يحدث هبوط لدرجة حرارة الخزان تحت درجة الحرارة الدنيا. إلا أن النظام الشمسي لا يستطيع التمييز بين الطاقة المسحوبة لتغطية الحمل و الطاقة اللازمة لتعويض ضياعات الخزان .

الجزء من الحمل الإجمالي المزود عن طريق نظام الطاقة الشمسية (الكسر الشمسي لتغطية الحمل المطلوب) والذي يتضمن ضياعات خزان التخزين يُعطى بالعلاقة :

$$f_{TL} = (L_s + Q_{sl}) / (L_o + Q_{sl}) \qquad (9.4.5)$$

حيث :

L_S (GJ) هي الطاقة المزودة من النظام الشمسي إلى الحمل الحراري .

L_o (GJ) الحمل الكلي.

وعندما يصبح Q_{sl} معلوماً ، فإنه يصبح بالإمكان حساب f_{TL} بواسطة Ø, f –Charts تماماً بالأسلوب نفسه المتبع و الموضح في المثال (1.4.5). عادة نعبر عن الجزء من الحمل المؤمن بواسطة الطاقة الشمسية باستخدام النسبة L_S / L_o وهي (نسبة الطاقة الشمسية الواصلة إلى الحمل مقسومة على الحمل المفيد). إذا استخدمنا الرمز f لهذه النسبة، عندها يمكن أن تكتب المعادلة (9.4.5) بالمعادلة (10.4.5) :

$$f_{TL} = (L_s / L_o + Q_{sl} / L_o) / (L_o / L_o + Q_{sl} / L_o)$$

$$f_{TL} = (f + Q_{sl} / L_o) / (1 + Q_{sl} / L_o) \Rightarrow$$

$$f = f_{TL}(1 + \frac{Q_{sl}}{L_o}) - \frac{Q_{sl}}{L_o} \qquad (10.4.5)$$

لا يمكن حساب ضياعات الخزان بشكل كامل، ولكن يمكن تحديد قيمتين حديتين تساعدان على تحديد الضياعات الفعلية. القيمة الحدية الأقل لضياعات الخزان يكون باعتبار درجة حرارة الخزان عند T_{min} على مر الشهر. القيمة الحدية الأعلى لضياعات الخزان باعتبار درجة حرارة الخزان الوسطية مساوية لدرجة الحرارة الوسطية الشهرية لمدخل اللاقط الشمسي $\overline{T_i}$. القيمة الحقيقة لدرجة حرارة الخزان الوسطية ستكون أخفض من القيمة السابقة المفترضة وذلك لأن اللاقط الشمسي لا يعمل على مدار ال 24 ساعة يومياً. و تقدير $\overline{T_i}$ يمكن أن يتم بواسطة $\overline{\phi}$ –charts . متوسط الفائدة اليومية يعطى بالعلاقة (11.4.5):

$$\bar{\phi} = \frac{f_{11}}{\gamma} \qquad (11.4.5)$$

مع هذه القيمة لـ $\bar{\phi}$، يمكن إيجاد المستوى الحرج الوسطي الشهري العامل بواسطة – $\bar{\phi}$ charts

و أيضا يمكن إيجاد $\bar{T}_i$. حسب توصيات Klein and Beckman (1979) فإن المتوسط الحسابي لكل من T_{min} و $\bar{T}_i$ يمكن أن يستخدم لتقدير ضياعات الخزان من المعادلة (8.4.5). والتخمينات الأكثر تحفظا تتم باستخدام $\bar{T}_i$ فقط لتقدير ضياعات الخزان.

و العملية تكرارية، بداية نقوم بتخمين درجة الحرارة الوسطية الشهرية للخزان والتي تمكننا من إيجاد $Q_{s/}$ بواسطة العلاقة (8.4.5). هذا التخمين لضياعات الخزان يستخدم لجزء من الحمل الكلي، وطريقة f –Charts Ø. تستخدم لتخمين f_{T1} . و من ثم يتم حساب $\bar{\phi}$ من المعادلة (11.4.5) و يتم إيجاد $\bar{X}_c$ من طريقة Charts – $\bar{\phi}$. هذه القيمة الحرجة اللابعدية تستخدم لإيجاد I_{Tc} و $\bar{T}_i$ من المعادلات (5.4.5) و(2.4.5). تتم مقارنة درجة حرارة الخزان مع الافتراض البدائي و نقوم بتكرار العملية لدى الضرورة. يتم استخدام المعادلة (10.4.5) لإيجاد f (الجزء من الحمل المغطى بالطاقة الشمسية) بتعويض القيمة النهائية لـ $Q_{s/}$.

مثال(3.4.5):

أعد حل المثال (1.4.5) للنظام الشمسي نفسه و لكن هذه المرة مع أخذ ضياعات الخزان بعين الاعتبار. و ذلك بافتراض $(UA)_s$ للخزان مساوية لـ [W/°C] 5.9، و تتم الضياعات الحرارية إلى الوسط المحيط عند درجة حرارة [°C] 20. قم بإجراء الحسابات من أجل شهر كانون الثاني .

الحل :

سيتم الحساب هنا فقط لشهر كانون الثاني، و سيفترض درجة الحرارة الوسطية للخزان في هذا الشهر [°C] 62، و بالتالي لدى استخدام المعادلة (8.4.5) نجد أن ضياعات الخزان هي :

$$Q_{sl} = (UA)_s (\overline{T_s} - T_a')\Delta T$$
$$Q_{sl} = 5.9(62-20)*3600*24*31 = 0.7[GJ]$$

و يكون عندها الحمل الكلي :

16.1 + 0.7 = 16.8 [GJ]

و تكون قيم $\overline{\phi}_{\max} Y$ و X' هي قيم المثال (1.4.5) نفسها مضروبة بالنسبة $\frac{16.1}{16.8}$ أي :

$$\overline{\phi}_{\max} Y = 0.54 * \frac{16.1}{16.8} = 0.52$$

$$X' = 2.19 * \frac{16.1}{16.8} = 2.10$$

من f –charts, ϕ أو المعادلة (5.4.5) نحصل على : $f_{11} = 0.50$

و من المعادلة (11.4.5) : $\overline{\phi} = 0.50/1.02 = 0.49$

من الشكل (2.3.5) أو من المعادلات (23.3.5) من فقرة الفائدة اليومية (و بواسطة التجربة و الخطأ) : $X_c = 0.39$ وبما أن القيمة الأصلية لـ X_c كانت 0.37، فلا بد من زيادة فرق درجة الحرارة [°C] 65 بنسبة (0.39/0.37) و يكون عندها تخمين T_i على الشكل التالي:

$T_i = 65\times(0.39/0.37) - 5 = 63.5$ [°C]

أو يمكن ضرب النسبة السابقة بدرجة الحرارة الدنيا مباشرة:

$T_i = 60\times(0.39/0.37) = 63.3$ [°C]

و تقدر درجة الحرارة الوسطية للخزان على أنها :

(63.5+60)/2 = 61.7 [°C]

و هي قريبة من القيمة الأولية للتخمين الأولي [°C] 62، لذا لا داعي لأي تكرار في الحسابات.
و تكون التغطية الشمسية من المعادلة (10.4.5):

$$f = f_{1L}\left(1+\frac{Q_{u1}}{L_{u2}}\right)-\frac{Q_{u1}}{L_{u2}}$$

$$f = 0.50[1+(0.7/16.1)]-(0.7/16.1) = 0.48$$

أي أن وجود ضياعات الخزان قد تسبب في تخفيض نسبة التغطية الشمسية للحمل من 52-48 % في شهر كانون الثاني، وأدى أيضاً إلى انخفاض الطاقة الواصلة إلى الحمل الحراري من النظام الشمسي من [GJ] 8.3 إلى :

$$0.48\times16.1 = 7.7\ [GJ]$$

و بالتالي على مستوى السنة ستنخفض النسبة من 67% إلى% 64 .

مثال (4.4.5):

في النظام الحراري للعملية الصناعية الموضّحة في المثال (2.4.5) حدّد الضياعات في خزان التخزين و ذلك خلال شهر حزيران مع الأخذ بالاعتبار درجة حرارة الوسط المحيط، حيث يتم تحديد موضع الخزان عند الدرجة [°C] 18، و $(UA)_s = 6.5$[W/°C] .

الحل :

لحل هذه المعضلة يجب أن نفرض درجة حرارة وسطية للخزان في شهر حزيران، ولتكن هذه الدرجة [°C] 72 . ويتم تقدير الضياعات من المعادلة (8.4.5):

$$Q_{u1} = (UA)_s(\bar{T}_s - T_a)\Delta t =$$

$$6.5(72-18)\times30\times24\times3600 = 0.91[GJ]$$

و بالتالي يكون الحمل الكلي [GJ] 17.11= 16.20 + 0.91 ، وذلك لأن الحمل يتناسب و بشكل غير مباشر مع البارامترات اللابعدية، و القيم الجديدة هي [17.11 / 16.20]، هذه القيم معطاة في المثال (2.4.5) ، لذلك:

$$\bar{\Phi}_{max} Y = 0.713 \frac{16.20}{17.11} = 0.675$$

$$X' = 4.74 \frac{16.20}{17.11} = 4.49$$

من المعادلة (5.4.5) :

$$f = \bar{\Phi}_{max} Y - 0.015[\exp(3.85 f) - 1][1 - \exp(-0.15 X')] R_s^{0.76}$$

نستنتج $f_{II} = 0.61$، و من المعادلة (3.4.5) يمكن أن نخمن قيمة Y :

$$Y = \frac{A_c F_R (\overline{\tau\alpha}) N H_I}{I_s} = \frac{A_c F_R (\overline{\tau\alpha}) N H R}{I_s}$$

$$= \frac{50 \times 0.82 \times 0.89 \times 30 \times 29.2 \times 10^6 \times 0.812}{17.11 \times 10^9} = 1.517$$

من المعادلة (11.4.5) فإن :

$$\bar{\Phi} = \frac{f_{II}}{Y} = 0.61 / 1.517 = 0.402$$

قيمة $\bar{K}_I = 0.70$ في شهر حزيران وبناء على ذلك تكون قيم المعاملات: A = - 1.5715 ، B = 0.0871، C = 1.0544. من المعادلة (24a.3.5):

$$\bar{\Phi} = \exp\left\{\left[A + B\left(\frac{R_n}{\bar{R}}\right)\right]\left[X_c + C X_c^2\right]\right\}$$

و بالتجربة والخطأ فإن القيمة الجديدة لـ X_C هي $X_C = 0.43$ المأخوذة من القيمة الأصلية (من الجدول حسب شهر حزيران 0.39).

كما في المعادلة (23.3.5): فإن $\bar{X}_c$ تتناسب و بشكل مباشر مع الفرق في درجة الحرارة، لذلك فإن الفرق الأولي هو : (70 – 25.8 = 44.2 [°C]) والذي يتوجّب زيادته حسب النسبة 0.43 / 0.39 ، بالتالي:

$$\Delta\bar{T}\,\frac{0.43}{0.39} = \bar{T}_i - \bar{T}_a$$

or

$$\bar{T}_i = \Delta\bar{T}\,\frac{0.43}{0.39} + \bar{T}_a = 44.2\,\frac{0.43}{0.39} + 25.8 = 74.5[°C]$$

عندئذٍ فإن متوسط درجة حرارة الخزان هي $(70 + 74.5) / 2 = 72.3$ [°C]. وهذه القيمة قريبة من القيمة الأولية، لذلك لاداعي للتكرار . ويتم الحصول على الحصّة الشمسية من المعادلة (10.4.5):

$$f = f_H\left(1 + \frac{Q_{sl}}{I_{sH}}\right) - \frac{Q_{sl}}{I_{sH}} = 0.61\left(1 + \frac{0.91}{16.2}\right) - \frac{0.91}{16.2} = 0.59$$

لذلك فإنه عند الأخذ بعين الاعتبار الضياعات فإن هذا يُقلّل من الحصة الشمسية لشهر حزيران بمقدار من 59% الى 64% (حسب جدول حزيران) .

2.4.5. تعديل المبادل الحراري:

يقوم المبادل الحراري بزيادة درجة الحرارة التخزينية للخزان عن طريق إضافة مقاومة حرارية بين الخزان والحمل. وينتج هذا في تخفيض الطاقة الكلّية المفيدة المجمعة بواسطة تحقيق درجات حرارة أعلى عند مدخل المجمّع وزيادة ضياعات خزان التخزين. يُعطى متوسّط زيادة درجة حرارة الخزان والذي هو ضروري للتزويد بحمل الطاقة المطلوب من قبل[klein and BecKman (1979)]:

$$\Delta T = \frac{fL / \Delta t_L}{\varepsilon_L C_{\min}} \qquad (12.4.5)$$

حيث:

Δt_L [Sec] هي عدد الثواني خلال الشهر الذي يُطلب فيه الحمل.

ε_L هي فعّالية حمل المبادل الحراري

$C_{\min}$ [W / °C] السعة الأصغرية لمجرى السائلين ضمن المبادل الحراري.

المعدل الوسطي للطاقة الشمسية الواصلة إلى الحمل يتم إيجاده بتقسيم L_S على عدد الثواني التي يكون فيها الحمل مطلوبا خلال الشهر (Δt_L). و يكون المعدل الوسطي لازدياد درجة حرارة الخزان اللازم لتأمين معدل الطاقة المطلوب :

$$\Delta T = \frac{Q_{s/}}{\Delta T_L} = \frac{fL}{\varepsilon_L C_{\min}} \qquad (13.4.5)$$

حيث:

فرق درجات الحرارة المحسوب آنفا تتم إضافته إلى $T_{\min}$ لإيجاد المتوسط الشهري لمعدل الإشعاع الحرج من المعادلة (2.4.5).

خلال عملية إنشاء مخططات f –charts , ϕ تم اعتبار المبادل الحراري ذو حجم لامتناهي في الكبر و بالتالي فإن قيم f الناتجة ستكون أكبر من الحقيقة و لا بد من إدخال معامل تصحيح .

و بما أن f معلومة من البداية، من الضروري في البداية تخمين القيمة ΔT و من ثم اتباع الإجراءات الموضحة في المثال (2.4.5) لإيجاد قيمة f . قيمة f هذه تستخدم في المعادلة (13.4.5) للتأكد من قيمة ΔT المخمنة . والحسابات موضحة في المثال (3.4.5).

مثال (5.4.5):

احسب تأثير المبادل الحراري على أداء النظام الموضح في المثالين السابقين(1.4.5) و (3.4.5)، باعتبار أن فعالية المبادل الحراري هي 0.45، وبفرض: $C_{min} = 3000$ [W/°C]

الحل :

من المثال (1.4.5) ومن أجل شهر كانون الثاني :

$$\bar{R} = 1.90, \quad R_n = 1.61 \quad , \quad \bar{T}_a = -5[^\circ C]$$

$$R_n / R = 0.85 ; r_{tn} = 0.176 , K_t = 0.59 , H = 8.6 [MJ / m^2] , (\overline{\tau\alpha}) / (\tau\alpha)_n = 0.94$$

كتخمين مبدئي لـ ΔT ستأخذ 4 [°C] ، وبالتالي من المعادلة (2.4.5) يكون :

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

$$\bar{X}_{c,min} = \frac{2.63[60 + 4 - (-5)] / 0.72 * 0.94}{0.176 * 1.61 * 8.6 * 10^6 / 3600} = 0.40$$

من المعادلة (23.3.5) أو من الشكل(2.3.5) نجد أن : $\bar{\phi}_{max} = 0.49$ و بما أننا نريد أخذ ضياعات الخزان بعين الاعتبار، لابد من أخذ قيمة افتراضية لدرجة حرارة الخزان لتحديد الحمل الكلي. و بأخذ درجة حرارة الخزان 66 [°C] يكون: $Q_{sl} = 0.7$ [GJ] و يكون عندها الحمل الكلي :

$$L = 16.1 + 0.7 = 16.8 \text{ [GJ]}$$

عندها يكون :

$$Y = \frac{A_c F_R (\tau\alpha) \bar{H}_T N}{L} = \frac{(50*0.72*0.94*1.90*8.6*10^6*31)}{16.8*10^9} = 1.02$$

و بالتالي :

$$\bar{\phi}_{\max} Y = 0.49*1.02 = 0.50$$

قيمة X' تكون :

$$X' = \frac{A_c F_R U_L (100)\Delta t}{L} = \frac{50*2.63*100*3600*31*24}{16.8*10^9} = 2.11$$

من المعادلة (5.4.5) أو من الشكل (1b.4.5):

$$f = \phi_{\max} Y - 0.015(e^{3.85f} - 1)\left(1 - e^{-0.15X'}\right)(R_\ell)^{0.76} \Rightarrow f_{11} = 0.48$$

علينا الآن التحقق من ضياعات الخزان التقريبية بتقييم X_C عند : $\varnothing = 0.48/1.02 = 0.47$
من المعادلة (23.3.5) أو من الشكل(2.3.5) :

$$\bar{X}_{C,\min} = 0.41$$

من المعادلة (2.4.5):

$$(\bar{T}_i - \bar{T}_a) = \frac{\bar{X}_{c,\min} r_{t,a} R_a \bar{H} . F_R(\overline{\tau\alpha})}{F_R U_L}$$

$$(\bar{T}_i - \bar{T}_a) = \frac{0.41*0.176*1.61*8.6*10^6*0.72*0.94}{2.63*3600} = 73[°C]$$

$$\Rightarrow \bar{T}_i = 73 - 5 = 68[°C]$$

و تكون درجة الحرارة الوسطية للخزان والتي نحسب الضياعات عندها :

$$\bar{T} = (64+68)/2 = 66[°C]$$

و بما أنها مماثلة للقيمة المفروضة، لا داعي لتكرار حساب ضياعات الخزان .

و تكون التغطية الشمسية من المعادلة (10.4.5):

$$f = f_{11}(1+\frac{Q_{sl}}{L_a}) - \frac{Q_{sl}}{L_a} \Rightarrow$$

$$f = 0.48[1+(0.7/16.1)] - (0.7/16.1) = 0.46$$

قيمة f هذه تستخدم في حساب ΔT من العلاقة (13.4.5):

$$\Delta T = \frac{Q_{sl}}{\varepsilon_1 C_{\min}} = \frac{fL}{\varepsilon_1 C_{\min}} = \frac{0.46*16.1*10^9/(3600*12*31)}{0.45*3000} = 4[°C]$$

و بما أنها مطابقة للقيمة المفروضة في الأساس ، فإن حسابات شهر كانون الثاني انتهت والحمل المؤمن بالطاقة الشمسية يكون عندها : $0.4616.1 = 7.3$ [GJ]

من المفيد إجراء مقارنة بين نتائج الأمثلة الثلاثة السابقة لشهر كانون الثاني: بدون ضياعات الخزان أو بدون المبادلات الحرارية للحمل ، فإن مساهمة الطاقة الشمسية تكون [GJ] 8.3 ، وعند

أخذ ضياعات الخزان تنخفض إلى [GJ] 7.7 ، وعند إدخال المبادلات الحرارية ، أصبحت 7.3 [GJ] . وهذه الانخفاضات ليست قابلة للإهمال لأنها كبيرة .

مثال (6.4.5):

كما في المثال (4.4.5) أضف تأثير حمل المبادل الحراري إلى الأداء و ذلك لشهر حزيران و تطبيق ذلك على نظام المثال(2.4.5). فعّالية المبادل الحراري هي $\varepsilon_I = 0.48$ ، والسعة الأصغرية هي $C_{\min} = 3200[W/^{\circ}C]$.

الحل :

هناك حاجة لأن يتم افتراض أن زيادة درجة حرارة خزان التخزين هي [°C]5 و ذلك جراء فعل المبادل الحراري. من المعادلة(23.3.5) نجد :

$$\bar{X}_{c,\min} = \frac{F_R U_L (T_{\min} - \bar{T}_a)}{F_R(\overline{\tau\alpha})} = \frac{5.92 \times 3600(70+5-25.8)}{r_n R_n \bar{K}_T \bar{H}_n} = \frac{0.82 \times 0.89}{0.122 \times 0.921 \times 0.70 \times 41.71 \times 10^6} = 0.44$$

قيمة $\bar{K}_T = 0.70$ خلال شهر حزيران، لذلك تكون المعاملات:

A = - 1.5751 ، B= 0.087 ، C = 1.0544 من المعادلة (24a.3.5) نجد $\bar{\Phi}_{\max} = 0.387$ وذلك لأن استخدام المبادل الحراري يزيد من درجة حرارة الخزان، و كما في المثال السابق يفرض أن درجة حرارة جديدة للخزان ولتكن [°C]77 .

من المعادلة (8.4.5) نجد Q_{st} = 0.99 [GJ] و الحمل الكلي هو

17.19 [GJ] = 16.20 + 0.99 ، بالتالي و كما في المثال السابق:

$$Y = \frac{A_c F_R(\tau\alpha)N\bar{H}_T}{L} = \frac{A_c F_R(\tau\alpha)N\bar{H}\bar{R}}{L}$$

$$= \frac{50\times 0.82\times 0.89\times 30\times 29.2\times 10^6\times 0.812}{17.19\times 10^9} = 1.510$$

$$\bar{\Phi}_{max} Y = 0.387\times 1.510 = 0.584$$

من المعادلة (4.4.5):

$$X' = \frac{A_c F_R U_L (100)\Delta t}{L} = \frac{50\times 5.92\times 100\times 24\times 30\times 3600}{17.19\times 10^9} = 4.46$$

من المعادلة (5.4.5) : $f_{TL} = 0.54$ ، بعد ذلك يجب أن نتحقق من مقدار الزيادة التي افترضناها في درجة حرارة الخزان . من المعادلة (11.4.5):

$$\bar{\Phi} = \frac{f_{TL}}{Y} = 0.54/1.510 = 0.358$$

ومن المعادلة (2.4.5) وعن طريق التجربة و الخطأ نجد القيمة الجديدة لـ $\bar{X}_c$:
$\bar{X}_c = 0.47$ القيمة الأصلية هي 0.39 (من الجدول حسب شهر حزيران). من المعادلة (2.4.5):

$$\bar{T}_i - \bar{T}_a = \frac{F_R(\tau\alpha)r_a R_a \bar{K}_T \bar{H}_a \bar{X}_c}{F_R U_L}$$

$$= \frac{0.82\times 0.89\times 0.122\times 0.921\times 0.70\times 41.71\times 10^6\times 0.47}{5.92\times 3600} = 52.8[^\circ C]$$

$$\bar{T}_i = 52.8 + 25.8 = 78.6[^\circ C]$$

إن متوسط درجة حرارة الخزان بوجود الضياعات هو : [°C]76.8= 2 / (78.6 + 75)، وهي كما هو ملاحظ القيمة السابقة المفروضة نفسها لذلك لا داعي للتكرار (تكرار التجريب) من المعادلة (10.4.5):

$$f' = f_H \left(1 + \frac{Q_M}{L_H}\right) - \frac{Q_M}{L_H} = 0.54\left(1 + \frac{0.99}{16.2}\right) - \frac{0.99}{16.2} = 0.51$$

أخيرا نقوم بالتحقق من قيمة الزيادة التي افترضناها في درجة حرارة الخزان [°C]5 جراء فعل المبادل الحراري ، من المعادلة(12.4.5):

$$\Delta T = \frac{fL_L / \Delta t_L}{\varepsilon_L C_{min}} = \frac{0.51 \times 16.2 \times 10^9 / (10 \times 30 \times 3600)}{0.48 \times 3200} = 5[°C]$$

وبالتالي باعتبار أن القيمة التي حصلنا عليها هي القيمة السابقة نفسها فلا داعي لتكرار التجريب و الحسابات صحيحة ، لذلك فإن الحصة الحرارية لشهر حزيران هبطت من القيمة 64% إلى القيمة 51% بسبب وجود حمل المبادل الحراري. وإن هذا الهبوط الكبير في الأداء قد حدث بسبب زيادة درجة حرارة الخزان وكذلك نتيجة لازدياد الضياعات في الخزان عند درجة الحرارة الأعلى .

تم إجراء عدة مقارنات بين توقعات Ø, f –Charts مع توقعات الأداء باستخدام محاكاة TRNSYS . في الجدول التالي، يتم مقارنة نتائج أنظمة التدفئة التي تؤمن الطاقة اللازمة للحمل عند درجة حرارة أصغرية لا تقل عن [°C] 20 في ستة مناخات جوية مختلفة .

كما تم عرض نتائج طريقة f –Chart . و تم توضيح التوافقات في الطرق الثلاث بشكل جيد .

الجدول (1.4.5) مقارنة نتائج : TRNSYS ، f –Chart ، f –Chart Ø. عند درجة حرارة أصغرية [°C] 20

	نسبة التغطية الشمسية السنوية لحمل تدفئة الفراغ		
	TRNSYS	f–chart	$\bar{\Phi}, f$ –chart
Albuquerque.NM 1959	0.79	0.78	0.81
Blue Hill.MA 1958	0.49	0.50	0.52
Boulder.CO 1956	0.67	0.68	0.72
Madison.WI 1948	0.45	0.47	0.47
Medford.OR 1969	0.55	0.53	0.56
Seattle.WA 1960	0.57	0.56	0.59

يبين الجدول (2.4.5) النتائج الشهرية لمثال عن عملية تدفئة منشأة صناعية تمت مقارنتها من أجل مناخين مختلفين. العملية تستخدم الطاقة عند درجة حرارة أصغرية أعلى من 60 درجة و بمعدل ثابت بين الساعة السادسة صباحاً و السادسة مساءً، سبعة أيام أسبوعياً. و التوافق بين نتائج TRNSYS و $\bar{\Phi}, f-chart$ ممتاز في كلا الموقعين، أما الاختلافات فيما بينهما فإنها تتأثر بالطاقة المنقولة من شهر لآخر في الدراسات الشهرية، كما أن معطيات الإشعاع الشمسي المستخدمة في محاكاة TRNSYS قد تكون صغيرة جداً و غير كافية لتلبية التوزيع الستاتيكي على المدى الطويل.

الجدول (2.4.5) : التغطية الشمسية لحمل تدفئة تطبيقي عملي درجة الحرارة الصغرى 60 °C

	Albuquerque.NM		New York. NY	
	TRNSYS	$\bar{\Phi}, f$ –chart	TRNSYS	$\bar{\Phi}, f$ –chart
كانون2	0.89	0.86	0.77	0.76
شباط	0.96	1.00	0.65	0.67
آذار	0.80	0.82	0.58	0.63

نيسان	0.90	1.00	0.49	0.52
أيار	0.75	0.78	0.30	0.32
حزيران	0.66	0.64	0.20	0.16
تموز	0.69	0.66	0.26	0.21
آب	0.74	0.71	0.39	0.37
أيلول	0.95	0.93	0.73	0.68
تشرين1	0.92	0.89	0.58	0.56
تشرين2	0.91	0.90	0.45	0.40
كانون1	0.94	0.93	0.66	0.66
السنوي	0.84	0.84	0.50	0.49

وتمّ إجراء المقارنة لنماذج من أنظمة تكييف الهواء (باستخدام مبرّد امتصاص يعمل عند الدرجة $T_{min} = 77[°C]$)، و تطبيقات المعالجة الحرارية ($T_{min} = 60$ [°C]). و قد أظهرت المقارنة أنه وعلى الرغم من وجود بعض الظروف الخاصّة التي تكون فيها f–charts، $\bar{\phi}$ ذات نتائج غير دقيقة فإنه يتم استخدام هذه الطريقة للتنبؤ بأداء الأنواع الكبيرة لأنظمة الطاقة الشمسية.

يمكن أن يحدث سوء استعمال بطريقة f –Chart .Ø، كنتيجة لذلك يجب التأكد من حدود استخداماتها. الطريقة غير قابلة للتطبيق على الأنظمة التي تكون فيها الطاقة المزودة إلى الحمل تستخدم المزود أو COP اللذين يعتمدان على درجة الحرارة ، مثل محرك رانكين الشمسي.

ولتحديد مساحة اللواقط المطلوبة لتغطية حمل التسخين شمسيا يمكن إضافة للطرق المذكورة أعلاه اتباع أي من الطريقتين التاليتين:

5.5. طريقة نسبة التغطية:

تعطى نسبة التغطية بالعلاقة التالية:

$$SHF_{DHW} = (Q_{sm} / Q_{wm}) \quad (1.5.5)$$

SHF_{DHW}: نسبة تغطية التسخين الشمسي لحمل تسخين الماء اللازم .

Q_{sm}: مجموع كمية الحرارة الشمسية الداخلة للنظام شهريا [KJ/month] .

Q_{wm}: حمل تسخين الماء اللازم شهريا [KJ/month].

ومساحة اللواقط تعطى بالعلاقة: $A_c - (Q_{sm} / Q_{cm})$

Q_{cm}: المعدل الوسطي للطاقة الناتجة من اللاقط شهريا [KJ/month] .

وتحسب من العلاقة: $Q_{cm} = \eta . P. I_d. N$

η: مردود اللاقط .

N : عدد أيام الشهر .

I_d : المعدل الوسطي للإشعاع اليومي على سطح اللاقط .

P : النسبة المئوية لسطوع الشمس المحتمل .

6.5. طريقة كفاءة اللاقط (المردود):

تعتمد هذه الطريقة على كفاءة اللاقط و احتياجات التسخين و الإشعاع الشمسي المتوفر حيث أن مساحة اللواقط تعطى بالعلاقة التالية :

$$A_c= Q / I_d. \eta \quad (1.6.5) \qquad (1.6.5)$$

حيث:

Q: حمل التسخين الكلي [Kwh/ day] .

η : مردود اللاقط وتعطى من الكتالوجات المرافقة للاقط المختار .

I_d : شدة الإشعاع الشمسي الكلي على مدار اليوم لوحدة مساحة اللاقط وتقدر بـ [KW.h/m^2.day] .

7.5. الخلاصة :

تم في هذا الفصل استعراض ثلاث طرق للتصميم (f –Chart ، $(\bar{\phi})$ ، (ϕ) ، (ϕ)) يمكن عادة استبدال طريقة (ϕ) بـ طريقة $(\bar{\phi})$ بفوارق صغيرة في الحسابات لا تتعدى النقصان في الرقم الرابع بعد الفاصلة . طريقة الفائدة الساعية واليومية لتقدير قابلية الاستخدام تتطلب بقاء مستوى الإشعاع الحرج على اللاقط ثابتا خلال الشهر، مما يعني بأن الفرق بين درجة حرارة مدخل اللاقط الشمسي والوسط المحيط تقريبا ثابت. في التطبيقات العملية ، هذا ينطبق بشكل أفضل على الأنظمة التي تملك حجوما تخزينية كبيرة أو التي لا تملك خزانات على الإطلاق والتي يكون فيها السائل الداخل إلى اللاقط الشمسي من مصدر ذي درجة حرارة ثابتة. الحالتان السابقتان كلتاهما ليستا شائعتين كثيرا. تم إنشاء مخططات f –Charts ، $(\bar{\phi})$ و تطويرها من أجل أنظمة الدارات المغلقة مع خزان محدود الحجم و التي تقوم بتعيين الحمل فيها بواسطة درجة حرارة وحيدة أصغرية مفيدة . هذا نظام شائع الاستخدام، ولكنه لا يغطي كل التطبيقات العملية. الأنظمة التي لا يمكن تصميمها بواسطة الطرق السابقة يجب أن تصمم بواسطة طرق المحاكاة التفصيلية .

أنظمة التسخين الشمسي /1/

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق

أنظمة التسخين الشمسي /1/

Damascus University

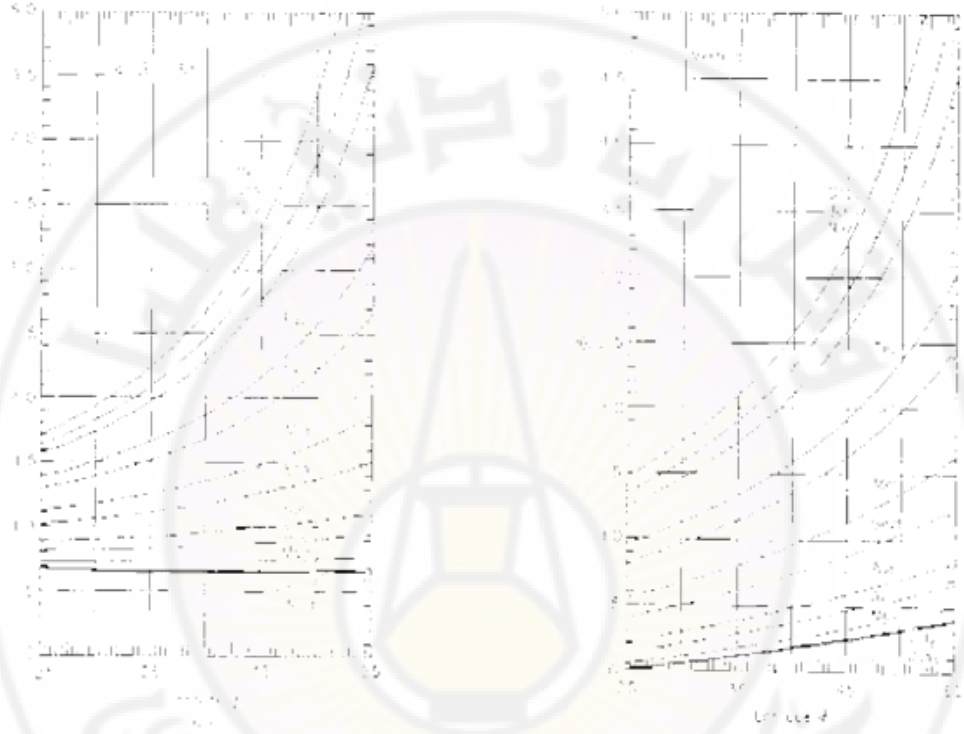
الجدول (A.1) الخصائص الفيزيائية للهواء عند الضغط الجوي.

Damascus University

الجدول (A.2) الخصائص الفيزيائية للماء السائل المشبع

Damascus University





الشكل (A.1) تقدير قيمة $\bar{R}_b$ للسطوح المواجهة لخط الاستواء كتابع لزاوية خط العرض الجغرافي من أجل $(\phi-\beta)$ مختلفة لأشهر. (c) $(\phi-\beta)=-15°$، (d) $(\beta)=90°$.

المراجع العلمية

References

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

1-Duffie J.A., Beckman W.A., Solar engineering of thermal processes, 2nd edition, 1991, John Wiley & Sons Inc., New York

2-METEONORM. Weather Data Generator. By the company METEO-TEST, Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern, Switzerland, 1999.

3-Streicher, W., Lecture book "Sonnenenergienutzung", Institute of Thermal Enneering, Graz University of Technology, 2005

4-Jivan Shaw L.; SOLAR HEATING SYSTEMS – From Research to Development; 2004

5-Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A. (Eds.); Renewable Energy – Technology, Economics and Environment; Springer, Berlin; 2007

6-Suter J.M. et al.; Durability and reliability of solar combisystems; in Weiss W. (Ed.); Solar Heating Systems for Houses – A design handbook for solar combysistems; James & James, London; 2003

7-Wagner, Wagner&Co.; Technical Report: ; 2001.

8-Weiss, W. "Industry Workshop", Solar Combisystems IEA-SHC Task 26, Delft, The Netherlands, April 2001.

9-Wolferen, H. "Legionella in hot water preparation", "Industry Workshop", Solar Combisystems IEA-SHC Task 26, Delft, The Netherlands, April 2001.

10-Jordan, U., Vajen, K.: Influence of the DHW profile on the Fractional Energy Savings – A Case Study of a Solar Combisystem, in: CD-ROM of the Third ISES Europe Solar Congress EuroSun 2000, Copenhagen, Denmark.

11-Knudsen, S.: Consumers' Influence on the Thermal Performance of Small DHW Systems – Theoretical Investigations. 9th International Conference on Solar Energy in High Latitudes. NorthSun. Leiden. The Netherlands. 2001. in press.

12- Streicher,W., 'Solar Thermal Heating Systems". lecture script. Graz University of Technology. Institute of Thermal Engineering 2007.

13-Duffie J.A., Beckman W.A., Solar engineering of thermal processes. 2nd edition. 2006. John Wiley & Sons Inc., New York

الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى	الواحدة
$A_{Optimal}$	مساحة المجمع الشمسي المثلى	$[m^2]$
A_c	مساحة اللاقط الشمسي	$[m^2]$
b_o	معامل معدل زاوية الورود IAM	–
C	نسبة التركيز	–
C_P	السعة الحرارية	J/kg.K
$C_{p,min}$	السعة الحرارية الدنيا للسائل في المبادل الحراري	J/kg.K
DHW	ماء الاستخدام المحلي الساخن.	–
d_{off}	بارامتر زمن التغير	–
$\dot{E}_{opt}$	معدل الطاقة الإشعاعية البصرية الساقطة على السطح الماص	W
F_m	نسبة التغطية الشمسية الشهرية من الحمل الكلي الشهري المزوّد بواسطة النظام الطاقي الشمسي.	–
F	نسبة التغطية الشمسية السنوية من الحمل الكلي السنوي المزوّد بواسطة النظام الطاقي الشمسي	–
F_R	معامل إزالة الحرارة من اللاقط	–
F'_R/F_R	تصحيح أداء المجمع من تأثير المبادل الحراري	–
$F_R(\tau\alpha)$	كمية الطاقة الممتصة من قبل اللاقط	–
$F_R U_L$	كمية الطاقة الضائعة من اللاقط	W/m^2
H	الإشعاع الشمسي اليومي على سطح أفقي	W/m^2
H_b	الإشعاع الشمسي المباشر اليومي على سطح أفقي	W/m^2
H_d	الإشعاع الشمسي المنتشر اليومي على سطح أفقي	W/m^2
$\bar{H}$	المتوسط الشهري للإشعاع اليومي الساقط على سطح أفقي	$MJ/m^2 day$
$\bar{H}_d$	المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المنتشر الساقط على سطح مائل	$MJ/m^2 day$
$\bar{H}_o$	المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي	$MJ/m^2 day$

$\bar{H}_T$	الإشعاع الشمسي اليومي على سطح مائل	$MJ/m^2 day$
$\dot{g}$	معدل إنتاج الحرارة من المبنى بسبب السكان والإضاءة والأجهزة والإشعاع الشمسي الداخل	
G_m	شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع	W/m²
G_o	الإشعاع الشمسي اللحظي خارج الغلاف الجوي	W/m²
G_s	شدة الإشعاع الشمسي الاستقرائية	W/m²
G_{sc}	الثابت الشمسي	W/m²
G_T	الإشعاع الشمسي اللحظي على سطح مائل خارج الغلاف الجوي	W/m²
IAM	معدل زاوية الورود	–
I	الإشعاع المباشر الساعي على سطح أفقي	W/m²
I_b	الإشعاع الشمسي المباشر الساعي على سطح أفقي	W/m²
I_d	الإشعاع الشمسي المنتشر الساعي على سطح أفقي	W/m²
I_g	الإشعاع الكلي على سطح على سطح أفقي	W/m²
I_t	الإشعاع المباشر الساعي على سطح مائل	W/m²
I_{tc}	الإشعاع الحرج	W/m²
$\bar{k}_T$	متوسط مؤشر الوضوح الساعي الشهري	–
$\overline{K_T}$	معامل الوضوح	–
L	إجمالي حمل التسخين الشهري المطلوب	J/mounth
$\dot{L}$	معدل الطاقة المضافة للبناء(من مصدر كالسخان، المشعات، نظام التسخين الشمسي)	J/mounth
L_{AUX}	الطاقة المساعدة للنظام الشمسي	J/mounth
L_{loc}	خط الطول للمكان المدروس	[°]
L_{st}	خط السمت القياسي للمنطقة	–
$\dot{L}_t$	معدل الضياعات الحرارية من الخزان	W

$\dot{L}_w$	حمل المياه الساخنة	W
L_w	الحمل الحراري الشهري للماء	W
$\dot{m}$	معدل التدفق الكتلي	$L/m^2.s$
$\dot{m}_a$	القيمة الحقيقية لمعدل التدفق في المجمع/ لكل متر مربع من مساحة المجمع	$L/m^2.s$
$\dot{m}_s$	القيمة القياسية لمعدل التدفق في المجمع/ لكل متر مربع من مساحة المجمع	$L/m^2.s$
M	الكتلة الحقيقية لسعة التخزين	Kg
$M_{a,b}$	السعة التخزينية الفعلية للحصى لكل متر مربع من مساحة اللاقط	m^3/m^2
$M_{b,s}$	سعة التخزين القياسية لكل متر مربع من مساحة اللواقط	m^3/m^2
$M_{w,a}$	سعة التخزين الحقيقة لكل متر مربع من مساحة المجمع	L/m^2)
$M_{w,s}$	سعة التخزين القياسية لكل متر مربع من مساحة المجمع	L/m^2)
N	رقم اليوم في السنة	–
N	عدد أيام الشهر	–
P	الطاقة الإنتاجية من كل متر مربع من اللواقط	J/m^2
Q_{cm}	المعدل الوسطي للطاقة الناتجة من اللاقط شهريا	J/month
$\dot{Q}_{cond}$	الضياع الحراري بالتوصيل	W
$\dot{Q}_{conv}$	الضياع الحراري بالحمل	W
$\dot{Q}_{loss}$	معدل الضياع الحراي من السطح الماص	W
$\dot{Q}_{rad}$	الضياع الحراري بالاشعاع	W
$\dot{Q}_{re,abs}$	الضياع الحراري بالانعكاس	W
Q_S	الطاقة الشمسية الممتصة بالنظام الطاقي الشمسي	W
Q_{sm}	مجموع كمية الحرارة الشمسية الداخلة للنظام شهرياً	J/month
Q_{st}	حمل التخزين	J/month
$\dot{Q}_{useful}$	معدل الطاقة "المفيدة" المغادرة للسطح الماص	W

Q_{wm}	حمل تسخين الماء اللازم شهرياً	J/month
R	نسبة الإشعاع الكلي الساعي إلى الإشعاع الكلي اليومي	–
r_d	نسبة الإشعاع المنتشر الساعي إلى الإشعاع المنتشر اليومي	–
$r_{d,n}$	نسبة الإشعاع المنتشر الساعي إلى الإشعاع المنتشر اليومي عند الظهر الشمسي	–
r_n	نسبة الإشعاع الكلي الساعي إلى الإشعاع الكلي اليومي عند الظهر الشمسي	=
$\bar{R}_h$	نسبة متوسط الاشعاع الساعي الشهري على سطح مائل إلى مثله على سطح أفقي	–
	النسبة بين تركيز الاشعاع الساعي عند الظهر على سطح مائل الى مثله على سطح افقي	–
$\bar{R}$	النسبة بين المتوسط الشهري للإشعاع اليومي على سطح مائل إلى مثله على سطح أفقي	–
R_b	معامل بين الشعاع المباشر على سطح أفقي الى الشعاع المباشر على سطح مائل.	–
$\bar{R}_b$	نسبة المتوسط الشهري للإشعاع اليومي المباشر على السطح المائل الى نظيره على سطح أفقي	–
R_s	نسبة السعة الحرارية التخزينية القياسية لواحدة مساحة اللاقط	–
S	الإشعاع الشمسي الممتص من قبل اللاقط الشمسي المسطح	J/m^2
SHF_{DHW}	نسبة تغطية التسخين الشمسي لحمل تسخين الماء اللازم	–
$\bar{T}_a$	متوسط درجة الحرارة الشهرية للوسط المحيط	[°C]
T_a^*	درجة حرارة السماء فوق المجمع	K
$\bar{T}_{abs}$	درجة حرارة الماص الوسطية	[°C]
$\bar{T}_{air}$	درجة حرارة الهواء المحيط	[°C]
T_{av}	المعدل السنوي لدرجة حرارة الماء البارد	[°C]
T_{av}	درجة الحرارة الوسطية	[°C]

T_b	درجة حرارة التوازن	[°C]
T_{cold}	درجة حرارة التزويد	[°C]
T_d	درجة حرارة التوزيع	[°C]
TES	تخزين الطاقة الحرارية	–
T_{frwat}	درجة حرارة الماء البارد	[°C]
T_{in}	درجة حرارة السائل الداخل إلى السطح الماص	[°C]
T_m	درجة حرارة الماء الباردة الرئيسية	[°C]
T_{out}	درجة حرارة السائل الخارج من السطح الماص	[°C]
$\overline{T}_s$	المعدل الشهري لدرجة الحرارة في الخزان	[°C]
$\overline{T_s}$	درجة حرارة الركود	[°C]
ΔT_{sh}	معدل قيمة ذروة التغير الموسمي	–
Time	ساعة من السنة ، قيمة داخلية TRNSYS	H
Δt	عدد الثواني في الشهر	Sec.
T_{REF}	درجة الحرارة المرجعية	[°C]
T_w	درجة حرارة الماء الساخن الدنيا المقبولة	[°C]
$(UA)_h$	معامل الضياع الحراري للمبنى مضروباً بمساحة المنطقة المدروسة	W/K
$(UA)_t$	معامل ضياعات الخزان بالمساحة الخارجية	W/K
U_L	معامل الفقد الحراري الكلي للاقط	$[W/m^2.°C]$
U^*_{coll}	معامل الانتقال الحراري الوسطي عندما تكون ضياعات التوصيل والحمل من المجمع صفر أو عند سرعة رياح محددة.	$[W/m^2.°C]$
$\dot{V}$	تدفق المياه	m^3/s
V_D	حجم ناقل الحرارة الذي يمكن أن يتبخر في حال التوقف الكلي (الركود)	L

V_e	الحجم الناتج عن التّمدد الحراري للوسط الناقل للحرارة	L
V_{plan}	حجم التجهيزات الشمسية	
V_V	الحجم الاحتياطي ليحفظ جهاز التمدد عند قيمة الضغط الأعلى اللازمة للعمل	
V_S	الحجم الاسمي للخزّان	L
X	نسبة الطاقة المفقودة من المجمع	–
X_c	شعاع حرج لا قياسي	–
Y	نسبة الطاقة الشمسية الممتصة الى حمل التسخين	–
ϕ	الفائدة الشهرية	–
ϕ	زاوية خط العرض للموقع على شمال أو جنوب خط الاستواء	[°]
$\overline{\phi}$	الفائدة اليومية	–
Φ_h	الفائدة الساعية	–
θ_{noon}	زاوية ورود الإشعاع الشمسي عند الظهر الشمسي	[°]
$\overline{\phi}_{\max}$	القيمة الأعظمية للفائدة اليومية	–
δ	زاوية انحراف موضع الشمس عن الظهر الشمسي	[°]
β	زاوية ميل السطح المدروس مع المستوي الأفقي	[°]
γ	زاوية سمت السطح	[°]
θ	زاوية ورود الإشعاع المباشر	[°]
θ_z	زاوية السمت	[°]
α_s	زاوية ارتفاع الشمس	[°]
γ_s	زاوية سمت الشمس	[°]
γ_s'	زاوية سمت الشمس المزيفة	[°]
ω	الزاوية الساعيّة	[°]
ω_{ew}	الزاوية الساعية عندما تكون الشمس على المحور شرق–غرب	[°]
ω_s	زاوية غروب الشمس على سطح أفقي	[°]

$\omega_s^{'}$	زاوية غروب الشمس على سطح مائل	[°]
λ	طول موجة الأشعّة	μm
τ	معامل النفوذيّة	–
τl	معامل النفوذية من أجل أطوال موجات الطيف تحت الأحمر من طيف الإشعاع الشمسي	–
τs	معامل النفوذية من أجل أطوال موجات الطيف المرئي من طيف الإشعاع الشمسي	–
τ_{cov}	معامل النفوذية للغطاء الزجاجي من أجل الاشعاع الشمسي	–
α	معامل الامتصاصية	–
α_{abs}	معامل الامتصاصية للماص من أجل الاشعاع الشمسي	–
αl	معامل الامتصاص من أجل أطوال موجات الطيف تحت الأحمر من طيف الإشعاع الشمسي	–
αs	معامل الامتصاص من أجل أطوال موجات الطيف المرئي من طيف الإشعاع الشمسي.	–
ρ	كثافة الماء	Kg/m^3
ρ	معامل الانعكاس	–
ρs	معامل الانعكاس من أجل أطوال موجات الطيف المرئي من طيف الإشعاع الشمسي	–
ρl	معامل الانعكاس من أجل أطوال موجات الطيف تحت الأحمر من طيف الإشعاع الشمسي	–
ε	الانبعاثية	–
ε_{abs}	معامل الانبعاثية من الماص	–
εl	معامل الانبعاثية من أجل أطوال موجات الطيف تحت الأحمر من طيف الإشعاع الشمسي	–
ε_L	فعالية المبادل الحراري ماء – هواء	–
εs	معامل الانبعاثية من أجل أطوال موجات الطيف المرئي من طيف	–

	الإشعاع الشمسي	
Γ	معامل الالتقاط	-
$(\overline{\tau\alpha})_b$	المركبة المباشرة لجداء معامل النفوذية للغطاء بمعامل الامتصاص للسطح الماص	-
$(\overline{\tau\alpha})_d$	المركبة المنتشرة لجداء معامل النفوذية للغطاء بمعامل الامتصاص للسطح الماص	-
$(\overline{\tau\alpha})_g$	المركبة المنعكسة من الأرض لجداء معامل النفوذية للغطاء بمعامل الامتصاص للسطح الماص	-
$(\tau\alpha)_n$	جداء معامل نفوذية غطاء المجمع بمعامل امتصاصية اللوح الماص للأشعة الشمسية الساقطة	-
$(\overline{\tau\alpha})/(\tau\alpha)_n$	التصحيح في قيمة $(\tau\alpha)$ والناتج عن تغير زاوية ورود الأشعة الشمسية على سطح المجمع	-
η_i	مردود اللاقط الشمسي	-
σ	ثابت ستيفان - بولتزمان $5,67\times10-8\ W/m^2K^4$	W/m^2K^4
σ_m	الانحراف المعياري للمتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط	-
σ_{yr}	الانحراف المعياري للمتوسط الشهري لدرجة حرارة الوسط المحيط من المتوسط السنوي لدرجة حرارة الوسط المحيط	-

المدققون العلميون

-الأساذ الدكتور المهندس وجيه ناعمة- قسم الميكانيك العام-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة دمشق
-الأستاذ المساعد الدكتور المهندس علي سلامي- قسم الميكانيك العام-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة دمشق
-الأستاذ المساعد الدكتور المهندس نصر ياسين -قسم الميكانيك العام-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة دمشق

المدقق اللغوي

الدكتور حمود يونس -قسم اللغة العربية -كلية الآداب والعلوم الإنسانية-جامعة دمشق

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات