

هندسة الاغذية بالطاقة الشمسية



تأليف
أ.م.د. اسعد رحمان سعيد
الجلافي

هندسة الاغذية بالطاقة الشمسية

تأليف

د. أسعد رحمان سعيد الحلفي

أستاذ مساعد في قسم علوم الاغذية

كلية الزراعة/جامعة البصرة

asaadrehman@yahoo.com

2010 م

حقوق الطبع

الطبعة الأولى 2010ء

حقوق الطبع والنشر @ جميع الحقوق محفوظة للناشر.

مكتبة الزهراء للطباخة

البصرة - جمهورية العراق

Mob.: 009647704297114

لا يجوز استنساخ أي جزء من هذا الكتاب بأي شكل
من الأشكال إلا بموافقة المؤلف

رقم الإيداع في دار الوثائق والكتب ببغداد ((1493)) لسنة 2010

تقديم

الحمد لله رب العالمين والصلوة والسلام على اشرف الانبياء والمرسلين محمد صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه اجمعين ومن هدي بهديه إلى يوم الدين.

خلق الله الشمس والقمر كآيات دالة على كمال قدرته وعظم سلطانه وجعل الشمس مصدرًا للضياء على الأرض وجعل الشعاع المعاكس من سطح القمر نوراً. قال تعالى في كتابه العزيز ((هو الذي جعل الشمس ضياء والقمر نوراً وقدره منازل لتعلموا عدد السنين والحساب ماخلاً الله ذلك إلا بالحق يفصل الآيات لقوم يعلمون)) فالشمس تجري في الفضاء الخارجي بحسبان دقيق ((الشمس والقمر بحسبان)). خلق الإنسان وآخرمه بميزة جعلته مختلفة عن باقي الكائنات الحية إلا وهي حب التعلم وحب معرفة حقائق الأمور ولها تطورت حياته شيئاً فشيئاً من الحياة البدائية حتى وصلت إلى ما نحن عليه الان من حياة مدمرة بوسائل تكنولوجيا ذلت بواسطتها صعوبات كثيرة في حياة البشر.

استفاد الإنسان من القديم من طاقة الإشعاع الشمسي في تطبيقات عديدة كتجفيف الأغذية وتدفئة المنازل كما استخدمها في مجالات أخرى كثيرة كتجفيف الطعام وصهر المواد وتوليد بخار الماء وتنقيتها وتسخين الهواء.

لقد حاول الإنسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسيّة واستغلالها ولكن بقدر قليل ومحدود ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الإنسان فتحت آفاق علمية جديدة في ميدان استغلال الطاقة الشمسيّة كأحدى مصادر الطاقة المتعددة والنظيفة والبديلة للنفط والغاز. وكذلك استغلت في البحوث والتطبيقات بمجال تحويل الطاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائية وهو أول الدول النامية في التطور. وكما هو معروف بأنه توجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدمن في صناعة المجمعات الشمسيّة التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسيّة إلى طاقة حرارية تنتقل للماء.

فاني اجد بهذا الكتاب (هندسة الأغذية بالطاقة الشمسيّة) كتاب مبسط ومفيد جداً ومن شأنه ان يزيد من سعة ادراك طلبة العلم فهو بلا شك سيساهم في اشباع طموح القراء في جميع المجالات ويغني عقولهم بمعلومات اساسية عن اجهزة الطاقة الشمسيّة وطريقة تركيبها وميكانيكيّة عملها وطريقة تجفيف وحفظ الأغذية اضافة الى بسترة وتعقيم الأغذية بالطاقة الشمسيّة كما يعطي معلومات اساسية عن التبريد وتسخين المياه وانتاج الماء المقطّر وانتاج الملح بالطاقة الشمسيّة فهذا الكتاب هو مكمل للمصادر في هذا المجال فبارك الله بهذا المؤلف الاستاذ المساعد الدكتور اسعد رحمان سعيد الحلفي لمساهمته في خدمة العلم والعلماء الذي اخذ كتابه هذا منحاً معيناً فيه بعض الاختلاف عن الكتب الأخرى في هذا المجال فهو يغني عقول الطلبة بمعلومات ربما اغفلتها المصادر الأخرى ونتمنى له المزيد من العطاء العلمي خدمة للعراق والى ابناء الامة المخلصين والله الموفق. والله من وراء القصد

الاستاذ الدكتور

خالد ابراهيم عجيل

قسم الفيزياء - كلية التربية - جامعة البصرة

المقدمة

تعد الطاقة الشمسية من الطاقات الرخيصة والمتوفرة بغزاره في العراق وهي طاقة نظيفه وصديقه للبيئة وليس فيها مخلفات تلوث البيئة . وهي الطاقة البديلة والمتتجده في المستقبل .

يصل عدد الساعات المشمسة في العراق الى 3600 ساعة في السنة ومعدل طاقة الاشعاع الشمسي المتوفرة $760 \text{ واط}/\text{م}^2$. ولابد من استغلال هذا الكم الهائل من الطاقة في مجالات شتى ولاسيما في مجال هندسة التصنيع الغذائي من خلال تصنيع اجهزة تعمل بالطاقة الشمسية مثل تجفيف الاغذية والتبريد والتجميد وانتاج البخار لتعقيم الاغذية واجهزه بسترة الاغذية السائلة مثل الحليب والعصائر وغيرها وطبخ الاغذية وانتاج الماء المقطر وانتاج ملح الطعام وتسخين المياه.

وهذا ماتناولته في فصول هذا الكتاب اذ تم بيان الجوانب الهندسية في التصميم والتصنيع لمثل هذه الاجهزه وكذلك حسابات الطاقة الشمسية من الناحية النظرية والعملية بما يخدم هذه الاجهزه.

يهدف هذا الكتاب الى اعطاء الطالب فكرة عن تصميم وتصنيع الاجهزه المستعملة في تصنيع الاغذية بالطاقة الشمسية ، كون الطالب يعرف اسس عمل هذه الاجهزه في دراسته لهندسة معامل الاغذية في المرحلة الثالثة الا انه كان يدرس ان مصدر الطاقة هو الكهرباء والوقود لعمل هذه الاجهزه . كما انه يكون مساعد للمهندسين الذين يعملون في هذا المجال ايضا.

وهذا الكتاب هو تطبيقي اذ يمكن تصنيع هذه الاجهزه بسهولة بالاعتماد على الشروحات التفصيلية الموجودة فيه وهو مليء بالرسوم الهندسية والصور لتبسيط الفكرة وفهمها بسهولة .

واخيرا اتمنى من الله العلي القدير ان يوفقنا في ايصال مادة هذا الكتاب الى الطلبة والمهتمين في هذا المجال من الباحثين والله ولي التوفيق

المؤلف

شكر وتقدير

اتقدم بالشُّكر والتقدير الى رئاسة قسم علوم الاممِية - كلية الزراعة -
جامعة البصرة والى اللجنة العلمية في القسم على ملاحظاتهم القيمة
وتشجيعهم لي على تأليفه هذا الكتاب. كما اتقدم بالشُّكر والامتنان الى
السيد علي عبد الامير والى كل من مد يد العون لإنجاز هذا المؤلف والله
ولي التوفيق.

المؤلف

المحتويات

6	.....	الفصل الاول
6	.....	الاشعاع الشمسي.....
20	.....	الفصل الثاني
20	.....	المجمعات الشمسية.....
66	.....	الفصل الثالث
66	.....	التجفيف بالطاقة الشمسية.....
187	.....	الفصل الرابع
187	.....	الطبخات والافران الشمسية.....
210	.....	الفصل الخامس
210	.....	بسترة وتعقيم الاغذية بالطاقة الشمسية.....
231	.....	الفصل السادس
231	.....	التبريد بالطاقة الشمسية.....
274	.....	الفصل السابع
274	.....	تسخين المياه بالطاقة الشمسية.....
285	.....	الفصل الثامن
285	.....	انتاج الماء المقطر بالطاقة الشمسية.....
319	.....	الفصل التاسع
319	.....	انتاج الملح بالطاقة الشمسية.....
333	.....	الفصل العاشر
333	.....	خزن الطاقة الشمسية.....
347	.....	المصادر.....

الفصل الأول

1-1 الإشعاع الشمسي Solar Radiation

الشمس هي عبارة عن كة هائلة من الغاز الذي يختلف اختلافاً كلياً عن أي غاز موجود في الأرض إذ أن درجة حرارته وضغطه وكثافته أكبر بكثير منها للغازات الموجودة في جونا ومع هذا فالغازات في الشمس تتقاد لقوانين الغازات التي نجدها على الأرض. هذه الكرة الغازية متاهجة حرارياً بواسطة تفاعل الاندماج النووي في مركزها ، وينبعث من الأجسام الساخنة عادةً إشعاع كهرومغناطيسي بتوزيع طيفي من الأطوال الموجية المختلفة تحدده درجة حرارة الجسم . وهذا التوزيع يتبع قانون بلانك الذي يبين أنه عند تسخين الجسم تزداد الطاقة الكلية للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث ويتناقص الطول الموجي لذروة الطيف المنبعث.

إن الشعاع القوي المنبعث من مركز الشمس يمتص بواسطة طبقة من أيونات الهيدروجين السالبة قرب سطح الشمس حيث تقوم هذه الأيونات بامتصاص متواصل لمدى كبير من الأطوال الموجية فینشا من تجمع الحرارة في هذه الطبقة تيارات الحمل الحرارية والتي تنقل الطاقة الفائضة خلال الحاجز البصري وحال نفادها خلال هذه الطبقة تعود الطاقة فتشع مرة ثانية خلال الغازات الشفافة نسبياً والواقعة فوق هذه الطبقة.

إن المستوى الذي يهيمن عليه الإشعاع على النقل بواسطة تيارات الحمل يعرف بالكرة الضوئية وتكون درجة حرارة هذه الكرة 6000 درجة مئوية . تشع هذه الكرة طيف مستمر من الإشعاع الكهرومغناطيسي وهذا الإشعاع المنبعث من الشمس خارج الغلاف الشمسي هو تقريباً يساوي الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود عند درجة حرارة 5762 كلفن وكما هو موضح في شكل (1-1) ، وهنالك تغير في قيمة هذا الإشعاع نتيجة التغير في قيمة الإشعاع الشمسي المنبعث من الشمس وافتراضت قيمته بحدود $\pm 1\%$ كذلك تغير المسافة بين الأرض والشمس بمقدار $\pm 3\%$. يبلغ قطر الشمس 864000 ميل وتبعد كتلتها 333000 من كتلة الأرض وحجمها 13000000 مرة من حجم الأرض وتصل درجة الحرارة في باطن الشمس إلى 15 -

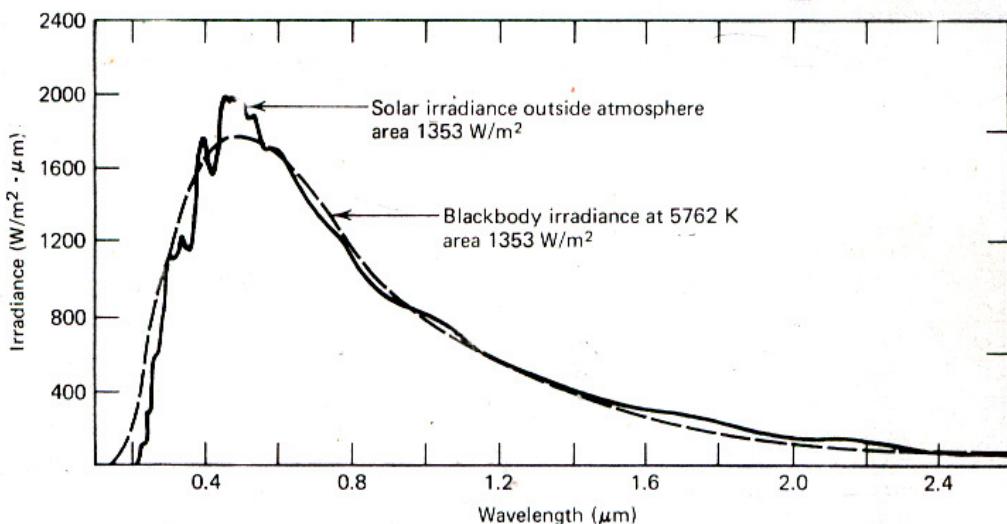
20 مليون درجة مئوية ، ودرجة حرارة السطح الخارجي للشمس تصل الى 6000 درجة مئوية . أما مقدار الطاقة المحررة من الشمس فتبلغ $1.2 * 10^{41}$ أيرج / سنة ومجموع الاشعاع الشمسي الواصل الى الارض هو $1.33 * 10^{21}$ كيلو سعرة / سنة .

ان اداء أي منظومة حرارية شمسية يعتمد على الاشعاع الشمسي المتوفّر لها ، ويتميز الاشعاع الشمسي بتوفّره بصورة غزيرة وهو متغيّر الشدة خلال ساعات النهار ويصل الى قيمته العظمى عند منتصف النهار حيث يكون طول الطريق الذي يقطعه خلال الغلاف الجوي قصيراً وكما هو موضح في جدول (1-1). ويجب ان يكون المجمع الشمسي مواجهها للشمس ، وان تغيّر زاوية الارتفاع للشمس وزاوية السمت سوف يقلل من الحرارة المتجمعة . كذلك فان ساعات النهار المشمسة متغيرة مع الفصول حيث تكون اقصر في فصل الشتاء الذي تكون فيه الحرارة المطلوبة اكبر. يكون المجمع الشمسي خاماً لمدة ثلاثة او ثلاثة ايام مما يؤدي الى زيادة كلفة المنظومة .

هناك عوامل تؤدي الى تقليل كمية الاشعاع الشمسي المستلمة مثل امتصاص جزء من الاشعاع الشمسي من قبل الطبقة الجوية المحتوية على الغازات مثل الاوكسجين والنیتروجين وثاني اوكسيد الكاربون ومعظم هذه الطاقة تُمتص من قبل بخار الماء وكذلك التلوث الذي يخفيضه بمقدار 10 % وهذا يخفيض من كفاءة المجمع الشمسي.

جدول (1-1): معدل طاقة الإشعاع الشمسي ($\text{واط}/\text{م}^2$) الساقطة على سطح مدن ببلوبيا درجة

الشهر السنة	ساعات النهار								
	الـ16	الـ15	الـ14	الـ13	الـ12	الـ11	الـ10	الـ9	المعدل
655.90	240.96	522.00	763.00	883.53	923.69	843.37	763.00	602.40	1
711.70	361.44	602.40	883.53	1004.0	1024.0	943.70	763.00	542.16	2
646.77	321.30	602.00	763.00	843.37	905.00	823.29	700.00	500.00	3
720.87	401.60	702.81	803.20	923.69	983.93	923.70	783.13	602.40	4
746.71	481.90	644.50	819.20	945.70	963.80	925.70	803.20	662.60	5
782.71	544.17	765.00	863.45	945.78	885.94	945.70	825.30	722.00	6
774.97	544.10	724.80	885.50	985.90	1018.0	945.79	823.20	624.00	7
737.83	483.93	644.57	845.38	945.78	965.86	903.61	803.21	584.33	8
726.23	443.77	644.57	825.30	925.70	945.78	784.14	803.21	622.48	9
575.18	263.05	401.60	644.57	744.97	825.30	865.46	644.57	524.09	10
687.41	265.06	546.18	724.89	925.70	925.70	943.77	785.14	524.49	11
664.86	261.00	542.16	702.81	903.61	983.93	943.77	763.00	542.16	12



شكل 1-1 : الإشعاع الشمسي والإشعاع المنبعث من الجسم الأسود خلال أطوال موجة مختلفة. (Lunde, 1980)

يحسب الاشعاع الشمسي الظاهري من المعادلة الآتية (Lunde, 1980)

$$I_o = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360N}{370} \right] \dots \dots \dots \quad (1-1)$$

I_{sc} : الثابت الشمسي وهو شدة الاشعاع الشمسي الواصل الى طبقة الجو المحيط

²بالارض وهي متغيرة نوعا ما ومعدل قيمته 1353 واطام

N: رقم اليوم في السنة

I_o : الاشعاع الشمسي الظاهري apparent extraterrestrial solar radiation

ان الاشعاع الشمسي الساقط على مستوى افقى يقسم عادة الى اشعاع شمسي واسع مصدره الارض *terrestrial radiation* الذي يشمل على الاشعاع المنعكس من سطح الارض والمنبعث منه . وتعتمد خصائص الاشعاع على نوع المصدر المولد له ، حيث ينبعث الاشعاع بموجات مختلفة الطول حسب درجات الحرارة وفيما يخص الاشعاع المنبعث من الشمس فهو يتضمن الانواع الاشعاعية الآتية:

1- الاشعاع فوق البنفسجي *ultraviolet radiation* ويمتاز بمواجات يتراوح طولها من 0.3 - 0.4 ميكرومتر.

2-الاشعاع المرئي *visible radiation* وطول موجاته من 0.4 - 0.8 ميكرومتر.

3-الأشعة تحت الحمراء *infra-red radiation* وطول موجاتها اكبر من 0.8 ميكرومتر مع العلم بان القيمة العظمى لشدة الاشعاع في المنطقة المرئية تحدث قريبا من 0.5 ميكرومتر.

يصل الاشعاع الشمسي الى الارض بشكليين اولهما : الاشعاع المباشر وهو الاشعاع الشمسي الذي يصل الارض بدون تعرضه للتبعثر في طبقات الجو ، ويصل من الشمس بزاوية مخروطية *con angle* مقدارها 0.5 درجة . وثانيهما: الاشعاع المنشر الذي يصل الارض بعد تعرضه لعدة عمليات منها البعثرة *scattering* بواسطة الدقائق العالقة في الجو ، والامتصاص بواسطة بخار الماء وبعض الغازات مثل ثاني اوكسيد الكاربون والانعكاسات بسبب الغيوم والعوالق الاخرى في طبقات الجو ويدعى الاشعاع المنشر احيانا الاشعاع السماوي *sky radiation* ويسمى مجموع الاشعاعين المباشر والمنشر على أي مستوى موضوع على سطح الارض بالاشعاع الشمسي الكلي وتعنى معظم القياسات العامة بالاشعاع الشمسي الكلي على سطح افقي ويطلق عليه احيانا بالاشعاع الكروي *global radiation*.

يمكن حساب شدة الإشعاع الشمسي عمليا باستخدام جهاز البايرانوميتر *pyranometer* الذي يربط مع جهاز المتكاملة الشمسي لقياس شدة الإشعاع الشمسي . وهذا الجهاز عبارة عن قطعة مصبوغة بطلاء اسود تحتوي على سلسلة من المزدوجات الحرارية تسمى عمود الحرارة *thermopile* وتغطى هذه القطعة بقطتين زجاجيين احدهما داخلي والآخر خارجي . شكل (1-2) . وهنالك طريقة اخرى يستخدم فيها جهاز الاكتينوغراف *Bimetic actinography* الذي يتكون من صفحتين معدنيتين ذات معامل حراري مختلف احدهما بيضاء والآخر سوداء اللون يعمل على حساب المجموع اليومي لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح افقي بالسرعة اسم ².



شكل (1-2) : جهاز البايرانوميتр لقياس شدة الاشعاع الشمسي.(الحلفي،2006)

اما الطريقة النظرية لحساب شدة الاشعاع الشمسي فيمكن استخدام الطريقة المتبعة من قبل (Lunde 1980) وهي كالاتي :

يحسب الاشعاع العمودي المباشر على سطح الارض I_{DN} ليوم مشمس *direct* كالتالي : *normal irradiance*

$$I_{DN} = A \exp\left(\frac{-B}{\cos \theta_z}\right) \dots \dots \dots \quad (1-2)$$

A : شدة الأشعة الشمسية خارج الغلاف الجوي *Apparent Extraterrestrial Solar Radiation*

B : معامل الاضمحلال الجوي *Extinction Coefficient*

θ_z : زاوية السمت الراسي *Solar Zenith Angle* وهي الزاوية المحصورة بين اشعة الشمس والعمود القائم على مستوى افقي فوق سطح الارض وللسطح الافقى فأن :

$$\cos \theta_z = \sin \alpha \dots \dots \dots \quad (1-3)$$

وتحسب زاوية ارتفاع الشمس كالتالي : (Lunde , 1980)

$$\cos \theta_z = \sin \alpha = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \dots \dots \dots \quad (1-4)$$

تؤخذ قيم كل من A و B من جدول (1-2).

α : زاوية ارتفاع الشمس (deg.) *Suns Altitude* وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الاشعة الشمسية وخط الافق وتحسب:

كما تحسب زاوية السقوط كالاتي:

incident angle زاوية السقوط θ_1 :

خط عرض الموقع او زاوية العرض وهي المسافة الزاوية لنقطة تقع شمال او جنوب خط الاستواء وهي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بين نقطة على سطح الارض ومركز الارض ومسقطه على الاستواء.

الميل الزاوي او زاوية انحراف الشمس *declination angle* وهي الزاوية المحصورة بين اشعة الشمس والمستوى المار في خط الاستواء . وتحسب كالتالي:

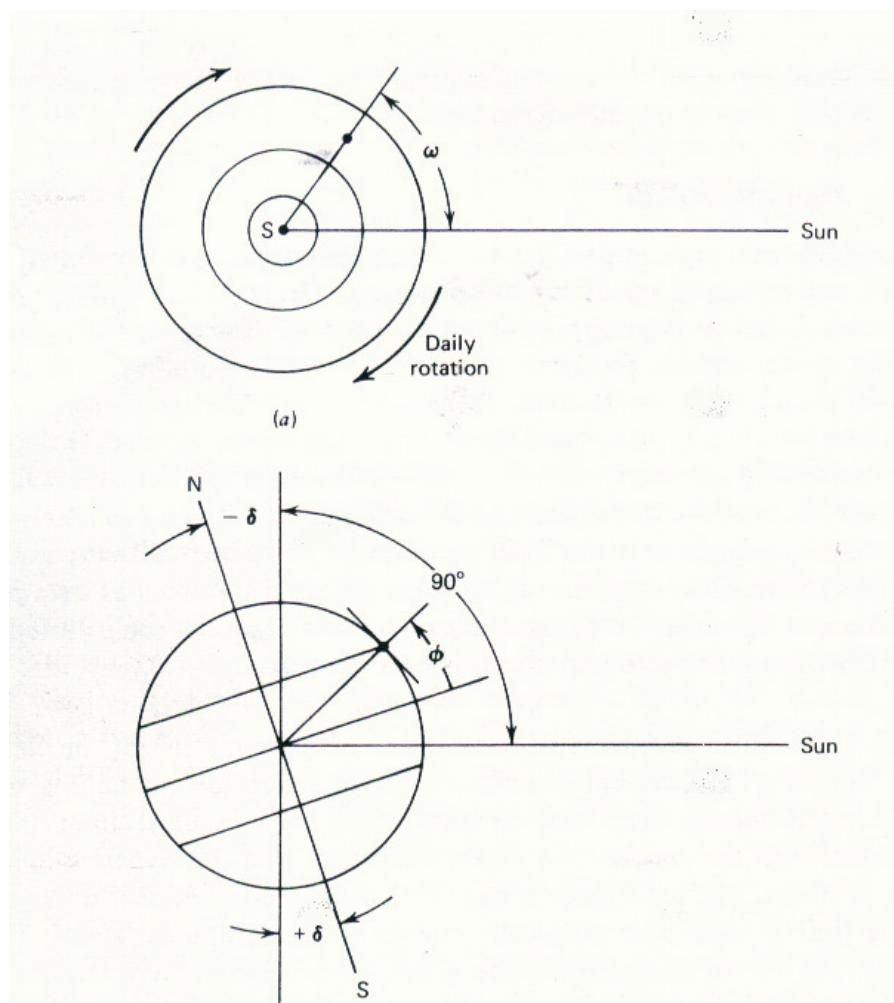
Inclination Angle (deg.): زاوية ميل المجمع الشمسي β

الزاوية الساعية *Hour Angle* وهي الزاوية التي تدور بها الارض لتجعل خط الزوال *meridian* لنقطة معينة منطبقا مع خطوط الاشعاع الشمسي وهي تقاس بالدرجات من غرب جنوب خط الزوال او الظهر ونتيجة لدوران الارض فان زاوية الساعة تتغير من صفر عند الظهر الى قيمتها العظمى عند الشروق او الغروب او هي الازاحة للشمس من الظهر وتحسب كالاتي (Farber , 1977 ,):

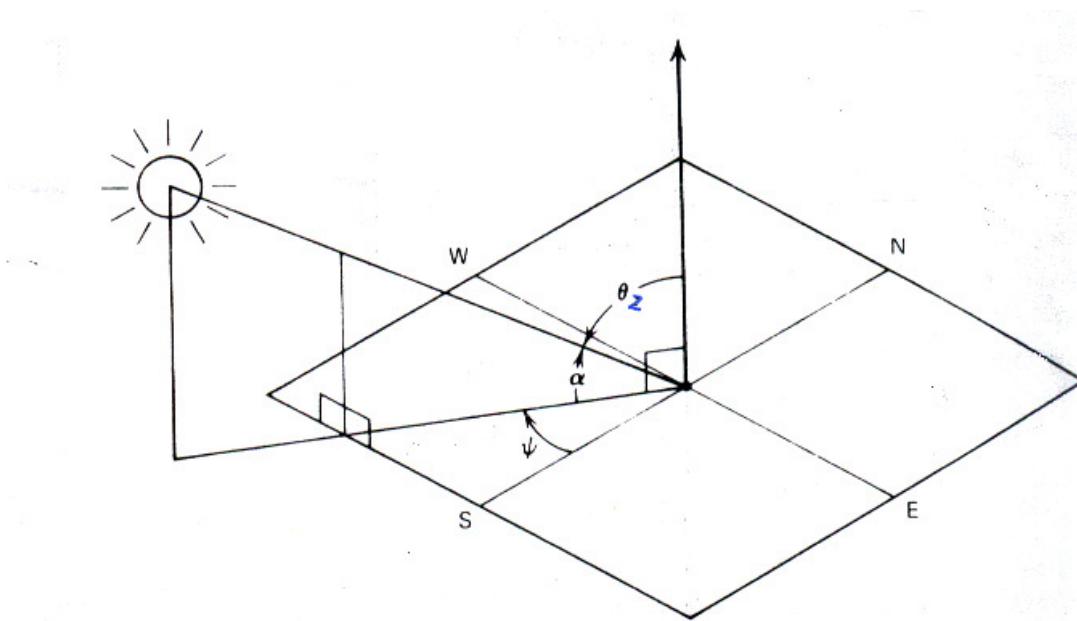
زاوية السمت (Ψ) *Azimuth angle* هي الزاوية في المستوى الأفقي المحصورة بين خط الشمال الجنوبي ومسقط الشعاع الشمسي في المستوى الأفقي وتحسب كالتالي:

$$\sin \Psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \dots \dots \dots \quad (1-9)$$

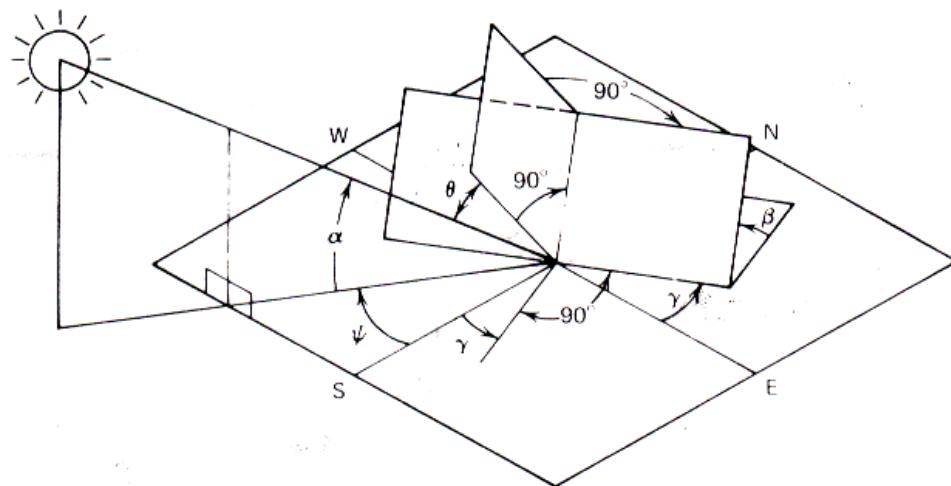
تكون زاوية السمت سالبة في الصباح و موجبة في المساء . و $|\Psi| \geq 0$ | عندما زاوية ارتفاع الشمس هي اقل منها وزاوية السمت للشمس $90^\circ \pm$.



شكل (1-3) : الزوايا المستخدمة لحساب الاشعاع الشمسي العمودي المباشر.
(مرزوق، 1985)



شكل (1-4): الزوايا الناتجة عن سقوط الاشعاع الشمسي على سطح افقي.



شكل (1-5): الزوايا المستخدمة لحساب الاشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل. (Lunde, 1980)

الوقت الشمسي (ST) solar time

وهو الوقت بالساعات قبل او بعد الظهر الشمسي ويعرف الظهر بأنه الوقت الذي تكون فيه الشمس اعلى ما يمكن في السماء . ومن العلاقة الآتية يمكن حساب

الوقت الشمسي: ST

Z: الوقت القياسي المحلي

خط الطول القياسي المحلي

I: خط الطول المحلي

معادلة الوقت EQT:

تؤخذ الأشارة الموجبة عندما تقع المدينة شرق خط الطول القياسي المحلي المعتمد في التوقيت المحلي وسالبة عندما تكون المدينة غربه .

اما معادلة الوقت فتحسب بالطريقة المقترنة من قبل Lamm (1980)

$$EQT = \sum_{kt=0}^5 (A_k \cos(\frac{2\pi k_t n}{365.25}) + B_k \sin(\frac{2\pi k_t n}{365.25})) \dots \dots \dots \quad (1-11)$$

n : رقم اليوم في السنة بالنسبة لدورة اربع سنوات ويبدا من اليوم الاول للسنة الكبيسة لتلك الدورة . لذا تكون قيم n من 1 - 1461 . ثوابت A_k , B_k تؤخذ من جدول .(1-3)

تحسب المركبة الراسية للاشعاع المباشر الساقط على سطح افقي كالاتي:

يحسب الإشعاع المنتشر الساقط على سطح افقي كالتالي:

I_D : الاشعاع المنتشر الساقط على السطح الافقى.

C : نسبة الاشعاع المنتشر الى الاشعاع العمودي المباشر الساقط على سطح افقي او معامل الأشعة الشمسية المنتشرة ويؤخذ من جدول (2-1). وبحسب الاشعاع الكلي الساقط على سطح افقي كالاتي:

كما يمكن كتابتها بصيغة أخرى:

حیث:

I_H: شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح افقي

I: شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح عمودي على مساره

اما في حالة شدة الاشعاع الشمسي الساقط على السطح المائل ، فتحسب مركبة الاشعاع المباشر على سطح مائل بزاوية β عن الافق كالتالي:

تحسب مركبة الاشعاع المنتشر على السطح المائل كالتالي:

I_D : مركبة الاشعاع المنتشر على سطح افقي.

معامل الشكل F_{SG} الذي يخص السطوح المستطيلة ويعطى من

المعادلة الاتية:

F_{ss}: معامل الزاوية *angle factor* وهو معامل يخص الزاوية بين السطح المعرض للأشعاع والسماء والذي يعطى من :

اما شدة الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مائل بزاوية مقدارها (β) عن الأفق فتساوي مجموع الأشعة الشمسية المباشرة والأشعة الشمسية المنتشرة والأشعة الشمسية المنعكسة من الأرض وحسب المعادلة الآتية :

$$I_T = I_{DN} * \left[\cos \theta_1 + C \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho_l (\sin \alpha + C) \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \right] \dots \dots (1-20)$$

حیث:

- μ : الانعكاسية الأرضية *Surface Reflectivity* وتساوي 0.2 للتربة الاعتيادية.
- θ_1 : زاوية سقوط الإشعاع الشمسي على المجمع الشمسي *Incidence Angle*
- I_T: شدة الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مائل

عامل التوجيه Orientation Factor (OF)

يمكن من خلال قياس شدة الإشعاع الشمسي على سطح افقي استنتاج شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على سطح مائل وكالاتي:

$$OF = \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_z} = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta \cos\omega + \sin(\phi-\beta) \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta} \dots \quad (1-22)$$

**جدول (2-1): شدة الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (A) (واط/م²)
ومعامل الاضمحلال الجوي (B) (م⁻¹) والثابت (C).**

C	B	A	شهر السنة	C	B	A	شهر السنة
0.136	0.207	1085	تموز	0.058	0.142	1230	كانون الثاني
0.122	0.201	1107	اب	0.060	0.144	1215	شباط
0.092	0.177	1151	ايلول	0.071	0.156	1186	اذار
0.073	0.160	1192	تشرين اول	0.097	0.180	1136	نيسان
0.063	0.149	1221	تشرين ثاني	0.121	0.196	1104	مايس
0.057	0.142	1233	كانون اول	0.134	0.205	1088	حزيران

جدول (1-3) : الثوابت المتعلقة بحساب معادلة الوقت.

B_K	A_K	K_t
0	$2.0870 * 10^{-4}$	0
$-1.2229 * 10^{-1}$	$9.2869 * 10^{-3}$	1
$-1.2698 * 10^{-1}$	$-52258 * 10^{-2}$	2
$-2.9823 * 10^{-3}$	$-2.1867 * 10^{-3}$	3
$-2.9823 * 10^{-3}$	$-2.1867 * 10^{-3}$	4
$-2.4363 * 10^{-4}$	$-1.5100 * 10^{-4}$	5

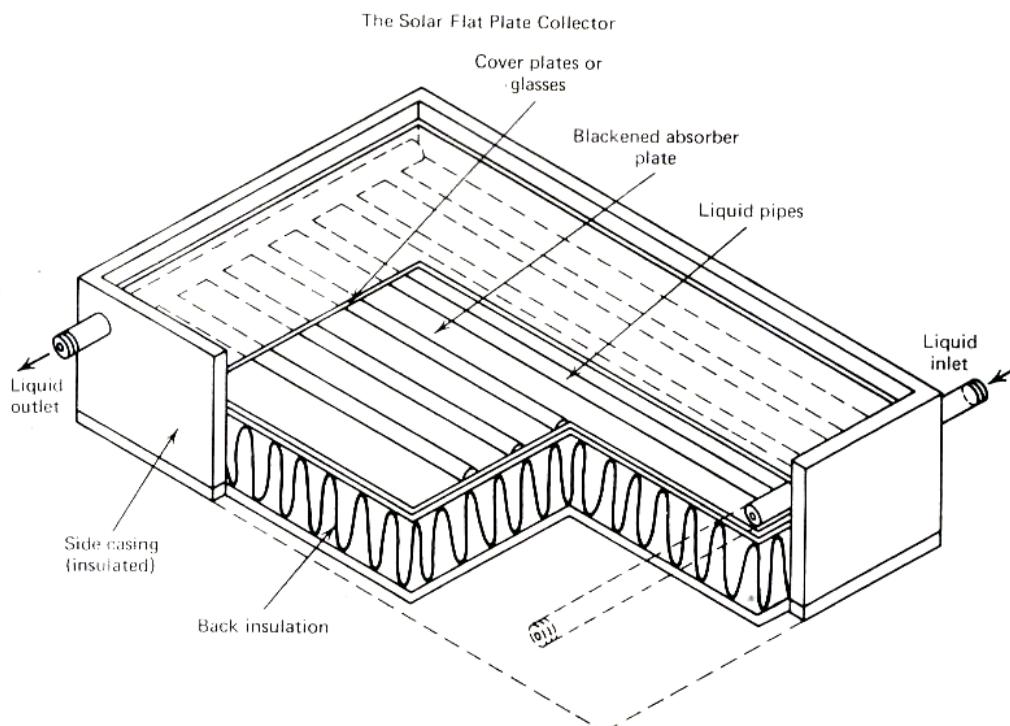
الفصل الثاني

2- المجمعات الشمسية

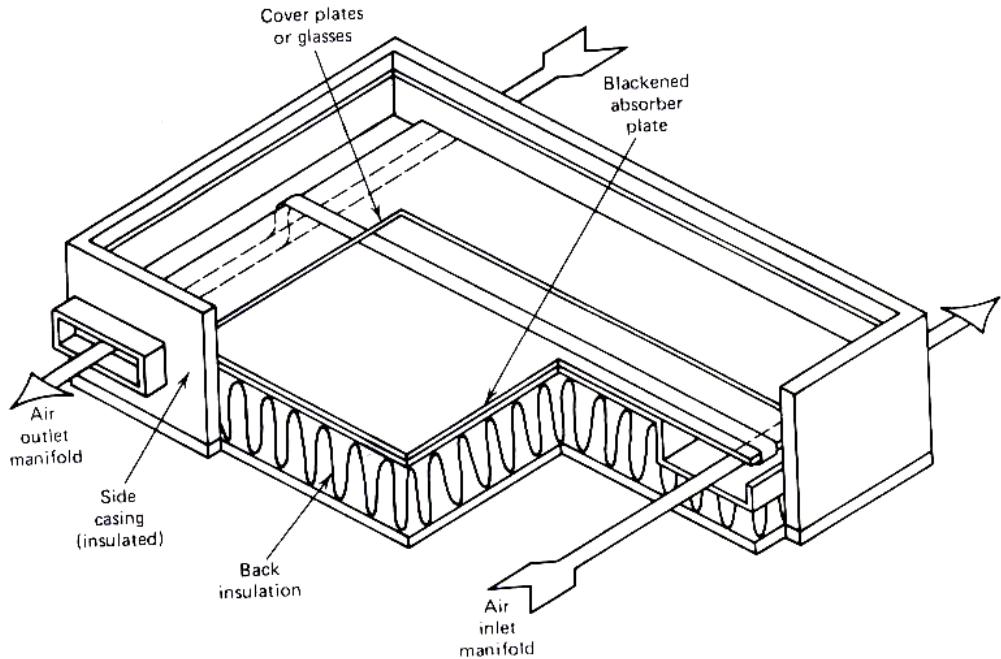
وهي عبارة عن تقنية الاستفادة من طاقة الاشعاع الشمسي وتحويلها الى طاقة حرارية تنتقل الى الماء . والهدف منها هو لتجمیع اقصى كمية من الطاقة الشمسية بكلفة قليلة وتكون على ثلاثة انواع رئيسية:

2-1 المجمعات الشمسية المستوية

تصمم هذه المجمعات للحصول على درجات حرارة متوسطة بحدود 100°C وهي بسيطة وستخدم بشكل واسع لتحويل الاشعة الشمسية الى طاقة حرارية مفيدة وهي اما ان تستخدم لتسخين الماء او الهواء . ويوضح الشكلان (1-2) و (2-2) مجمعان شمسيان الاول منهما يستخدم لتسخين الماء والأخر لتسخين الهواء .



شكل (2-1): مجمع شمسي يستخدم لتسخين الماء. (Lunde, 1980)



شكل (2-2): مجمع شمسي يستخدم لتسخين الهواء. (Lunde, 1980)

صفائح الغطاء Cover Plates

كل مادة عندما تتعرض إلى الضوء فأنها يمكن ان تبعث وتعكس او تمتص الضوء
ويمكن كتابتها وفق المعادلة الآتية:

حيث ان τ تمثل الانفاذية $transmissivity$ و ρ الانعكاسية $reflectivity$ و تمثل الامتصاصية $. absorbitivity$

هذه المعادلة صحيحة لاي طول موجي من الضوء سواء الأطوال الموجية الناتجة عن الشمس او عن صفيحة الامتصاص. ان المادة يجب ان يكون لها انفاذية عالية لتكون مفيدة في هذا المجال مثل غطاء المجمع الشمسي وان انعكاسيتها وامتصاصيتها يجب ان تكون قليلة .

انعكاسية المواد الشفافة *transparent* او الشبه شفافة *translucent* تعتمد على معامل الانكسار *reflective index* وزاوية السقوط *incidence angle* المكونة

يبين الاشعاع القائم والخط العمودي على السطح النهاز للاشعة . عندما زاوية السقوط تساوي صفر درجة للسطح المفرد فان:

حيث " يمثل معامل الانكسار وقيمتة بالنسبة للزجاج المستخدم في المجمعات الشمسية هي 1.53 ، لذلك فان الانعكاسية تساوي 0.044 وهذا يعني ان 4.4 % تكون منعكسة عند السطح و 8.8 % تكون منعكسة بمرورها خلال صفيحة الزجاج المفردة وهذا الفقد ذو اهمية بالغة وخصوصا عندما يستخدم عدة اغطية زجاجية. فقدان الناتج عن الانعكاسية يزداد بصورة بطئية عندما تزداد زاوية السقوط وتتضاعف الى حوالي 18 % (اللا سطحين) عندما يسلط الضوء بزاوية 30 درجة على السطح الانفاذى.

هناك طرق لتقليل فقدان الناتج عن الانعكاسية من الزجاج والمواد الأخرى وهي عندما يغطى الزجاج بطبقة رقيقة بمادة ثانية *dielectric* نفاذة للضوء ويطلى بسمك مقداره عدة ميكرونات أو أكثر فأن فقدان الناتج عن الانعكاسية سينخفض وحسب المعادلة الآتية:

مع ملاحظة اذا كان $n_1 = n_2$ فان النتيجة تصبح نفس نتيبة المعادلة (2-1). بينما اذا كان $\sqrt{n_1} = n_2$ فان الانعكاسية ستكون اقل وتصبح 2.2 %. كما يمكن تخديش الزجاج بالحامض *etching* لتقليل نسبة الانعكاس الى حوالي 2 %. او يستخدم البلاستيك الشفاف كغطاء للمجموعات الشمسية.

ان امتصاصية الزجاج للاشعاع الشمسي قليلة وكذلك الهواء والماء وامتصاصية البلاستك تقع بينهما . تعتمد قابلية الامتصاص على معامل الاضمحلال extinction coefficient والآخر يعتمد على كمية اوكسيد الحديد الموجود في الزجاج حيث عند زيادته تزداد امتصاصية الزجاج للاشعة ويكون لون الزجاج مخضر عند الجوانب . والزجاج الاعتيادي يمتص حوالي 5 - 10 % من

الضوء المؤثر . الزجاج نوع *smok – colored* المستخدم بشكل واسع في المباني، وزجاج الامتصاص الحراري *heat absorbing glass* يمتص اشعة اكثراً. اذا كان محتوى الزجاج من اوكسيد الحديد قليل بحدود 0.05 % سوف يفقد فقط حوالي 2.5 % من الضوء النافذ حيث يتم امتصاصه من قبل الزجاج . اما في الزجاج نوع *water – white* فان كمية اوكسيد الحديد فيه 0.01 % فان ماينفذ من خلاله 91.4 % من اشعة الشمس. لذا يجب ان يستخدم الزجاج الذي محتواه من اوكسيد الحديد قليل .

يبين جدول (1-2) خصائص الزجاج الذي يمكن استخدامه في المجمعات الشمسية . ان انفاذية الزجاج الابيض white glass هي حوالي 91 % ويمكن ايجاد الانفاذية باعادة ترتيب المعادلة (1-1) وكمالي:

جدول (2-1) : خصائص الزجاج.

نوع الزجاج	Water white	Sheet lime	Ordinary float	الخاصية
نسبة محتواه من اوكسيد الحديد	0.01	0.05	0.12	
معامل الانكسار	1.5	1.5	1.52	
نفاذ الضوء %	91.6 – 91.2	99 – 88	88 – 79	
سمك الزجاج (انج)	0.21875 – 0.125	0.1875 – 0.125	0.125 – 0.25	
نسبة فقدان بسبب الانعكاس	8	8 – 8.1	8 – 8.2	
نسبة فقدان بسبب الامتصاص	تحت 1.0	4 – 3	13 – 8	

تقل انفاذية الزجاج عند ارتفاع زاوية السقوط وتهبط بحدة عند زiatتها عن 45 درجة ، كما ان تأثير سمك الزجاج او احتوائه على كمية من ايون الحديد يكون مهما

بالنسبة للمجمعات المستوية وذلك لأنها تستفيد من بعض الإشعاع في الصباح الباكر أو المساء وتجمع أيضاً الإشعاع المنشر في الأيام الغائمة.

الزجاج يسمح للأشعة ذات الأطوال الموجية القصيرة التي هي أقل من 2.5 مايكرومتر بالمرور خلاله ويمنع مرور الإشعة ذات الأطوال الموجية الطويلة التي هي أكبر من 2.5 مايكرومتر من المرور خلاله. لذلك فإنه يمتلك صفة الانتخابية حيث يسمح بانفاذ الإشعة الشمسية ذات الأطوال الموجية القصيرة ويمنع الإشعة الحرارية المنبعثة من صفيحة الامتصاص ذات الأطوال الموجية الطويلة بالمرور خلاله.

هناك مواد أخرى يمكن استخدامها بدلاً من الزجاج مثل البلاستيك الشفاف و البولي كاربونيت *polycarbonate* ويسمى تجاريا *lexan* وكذلك *acrylic* ويسمى تجاريا *plexiglass* و *lucite* إلا أن الأخير له نقطة ذوبان قليلة ولهذا لا ينصح باستعماله . ويستخدم أيضاً *tedler* ولكن ليس في داخل المجمع لأنه يتمدد بسبب الحرارة العالية. ويستخدم أيضاً *Teflon* . ويعتبر التفلون *polyfluocarbon* . عملي في استخدامه وخصوصاً في الجزء الداخلي والواجهة لصفيحة الامتصاص. كما يمكن استخدام الكريستال الشفاف وهو يشبه الزجاج ويستخدم بسمك 0.25 ملم وكذلك استخدام *fiber glass sheet* .

صفيحة الامتصاص *Absorber plate*

المواصفات البصرية لصفيحة الامتصاص لها أهمية كبير على الكفاءة عندما يسقط الضوء على المجمع الشمسي وتجمعت كطاقة حرارية . إن السطح يشع أطوال موجية حرارية تحدد فقد الإشعاع المباشر والتي تكون عالية في المجمعات الشمسية حتى بوجود الغطاء الزجاجي المستخدم لتقليل فقد الحراري العلوي بسبب كبر مساحة السطح.

السطح يعكس مرئياً وبالقرب من الإشعة تحت الحمراء الحرارة المتصنة وبسبب العتمة الكبيرة فإن صفيحة الامتصاص لا تبعث ضوءاً لذلك فإن المعادلة (1-1) تصبح:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (2-5)$$

اذا يحصل هنالك امتصاص وانعكاس فقط للاشعاع الساقط على صفيحة المجمع الشمسي والامتصاصية تكون متنبطة . هنالك اصطلاح اخر يسمى بالانبعاثية *emissivity* وهي انبعاثية السطح عند الاطوال الموجية للاشعاع الحراري المتكررة والناتجة من امتصاص الاشعاع الشمسي.

يستخدم الكاربون الاسود *carbon black* لطلاء صفيحة الامتصاص لانه اسود قاتم ورخيص ومعمر تماما وهو ممتص جيد للاشعاع لكنه ليس انتقائيا حيث الامتصاصية والانبعاثية له 0.95 الى 0.98 . عند الطلاء بطبقة رقيقة جدا يتراوح سمكها 0.05 - 0.1 mil ومن المؤكد الصبغات *pigment* تصبح نفاذة للاشعة الحرارية ذات الموجات الطويلة . ان عملية الطلاء تجعل صفيحة الامتصاص ذات امتصاصية عالية وانبعاثية منخفضة ويكون السطح انتقائي . والافضل هو استخدام مخاليط مختلفة من *calciend oxidase* والクロوم والنحاس والحديد والمنغنيز ولهذه فان الخواص البصرية كانت الامتصاصية 0.92 والانبعاثية 0.13 وهذا له فوائد عملية كبيرة.

تستخدم أسطح الامتصاص الانتقائية لتقليل الفقد الحراري الإشعاعي وهي عبارة عن طلاء المعدن الاساس بطبقة رقيقة من اوكسيد او احد الفلزات الجيدة الامتصاص وقليلة الانبعاثية مثل طلاء الفضة باوكسيد الفضة والصلب المطلي باوكسيد الفضة والنحاس المطلي باوكسيد النحاس .

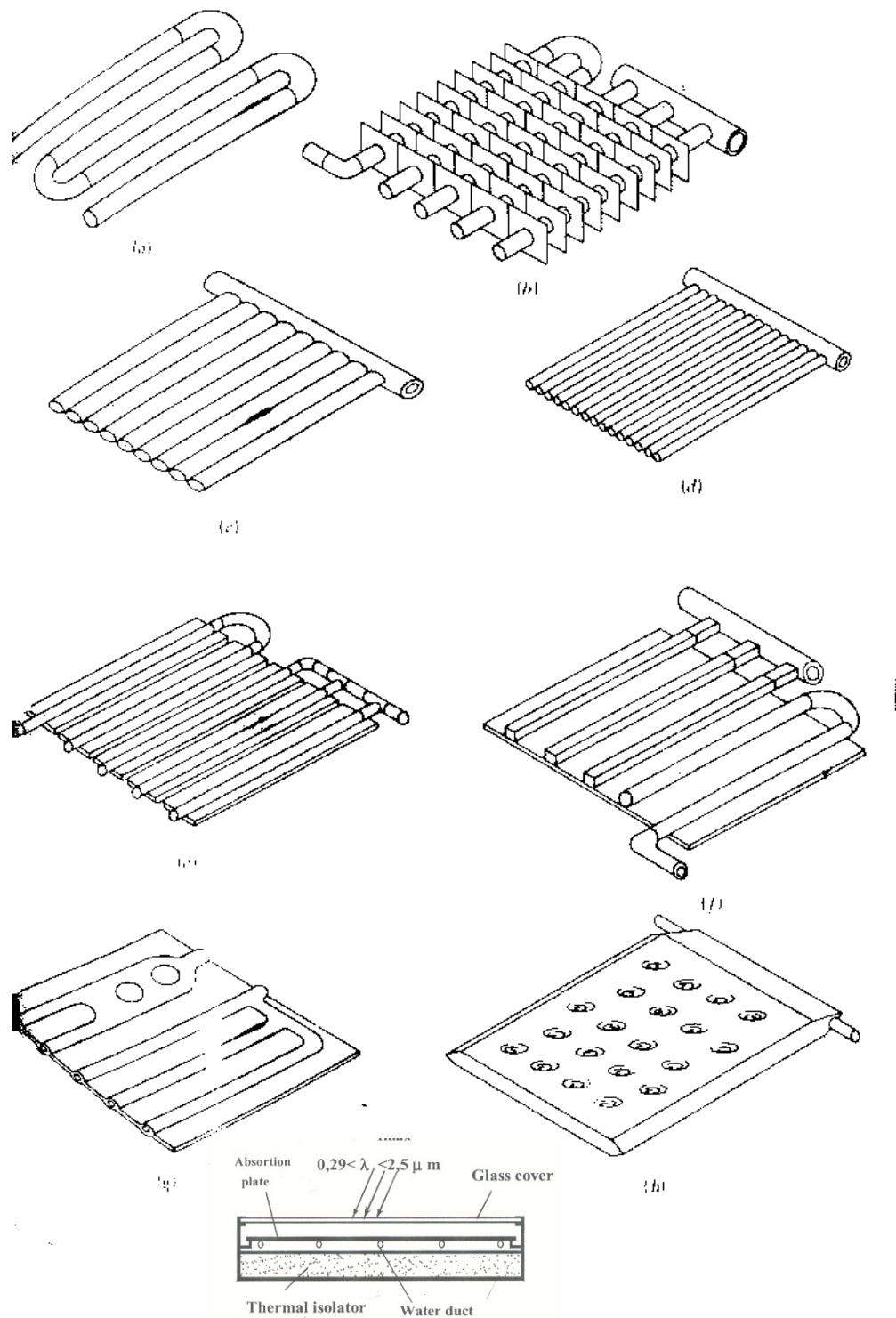
استخدام طبقتين من النيكل الاسود للطلاء الذي يحتوي على الكبريت والزنك ايضا ينتج سطح انتقائي يتميز بان امتصاصيته 0.96 وانبعاثيته 0.07 . كذلك استخدام الكروم الاسود *black chrome* للطلاء وينتج صفيحة مطلية بالنيكل ، او النحاس حيث يعطي سطح انتقائي جيد . وهذا الطلاء مقاوم للرطوبة وهو اسهل عمليا من استخدام طبقتين من النيكل الاسود وامتصاصيته 0.95 وانبعاثيته 0.1 . ان صفائح الامتصاص اما ان تكون مسامية *porous absorber* مثل المشبك السلكي *wire mesh* وخلايا النحل *honey comb* واللواح الزجاجية المتداخلة على التوالي لتصنع مساحات متساوية *air comb*

والنوع الثاني هو ذات سطوح امتصاص *overlapped glass plate heater* غير مسامية مثل استخدام قنوات الهواء باشكال مختلفة . وكما هو ملاحظ في الشكل 3 الذي يبين مرور المائع المستخدم لازالة الحرارة المتجمعة في جزء الامتصاص . ان التصاميم من $a - h$ تستخدم مع السوائل بينما التصاميم $I - k$ هي اكثر عملية مع الهواء.

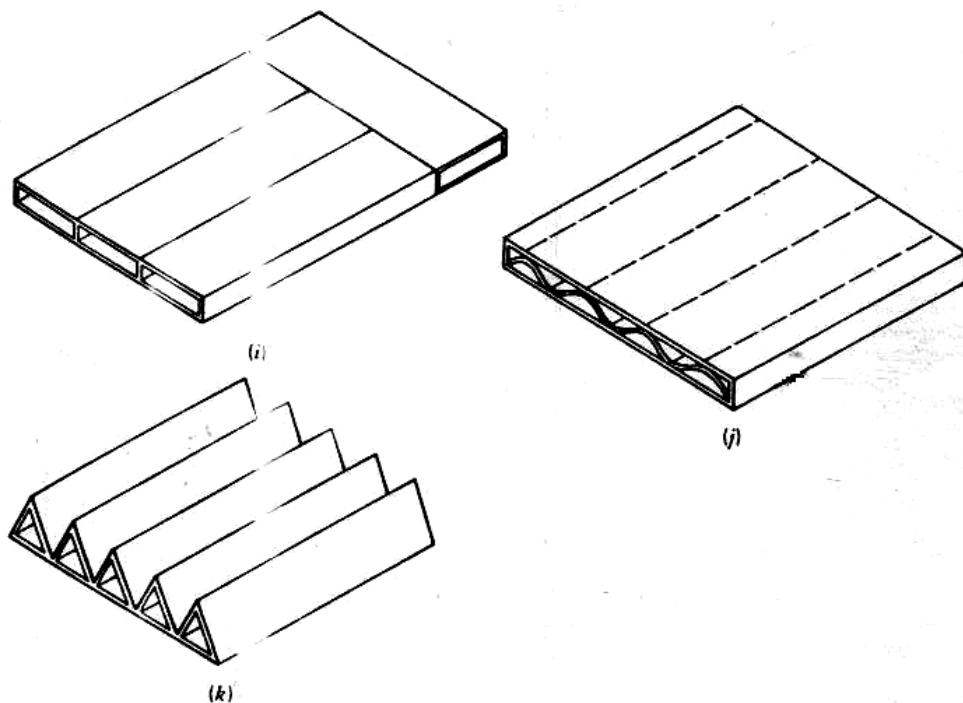
هناك علاقة بين عمق القناة وطولها بالنسبة للمجمعات الشمسية التي تعمل بالحمل الطبيعي حيث ان عمق القناة يتراوح بين 15/1-20/1 من طول القناة وهذا يعطي حركة ديناميكية للهواء مرغوب بها .

صفحة الامتصاص يجب ان تصنع من مواد موصلة مثل النحاس او الالمنيوم وعادة تكون بسمك قليل وكتلتها ليست كبيرة . يوضح الشكل (2-3) اشكال واوضاع صفيحة الامتصاص في المجمع الشمسي وان اضافة الصفيحة المتقطبة على شكل شبكة اعطت زيادة في درجة الحرارة بمقدار 3.9°C اعلى من التعرض للشمس بصورة كاملة . كما انها تفوقت على صفيحة الامتصاص الاعتيادية المستخدمة في المجمعات الشمسية كما هو موضح في شكل (2-4) ولكن هذا الاختلاف قد ينخفض اذا استخدمت الصفيحة من الالمنيوم او النحاس بدلا من الحديد.

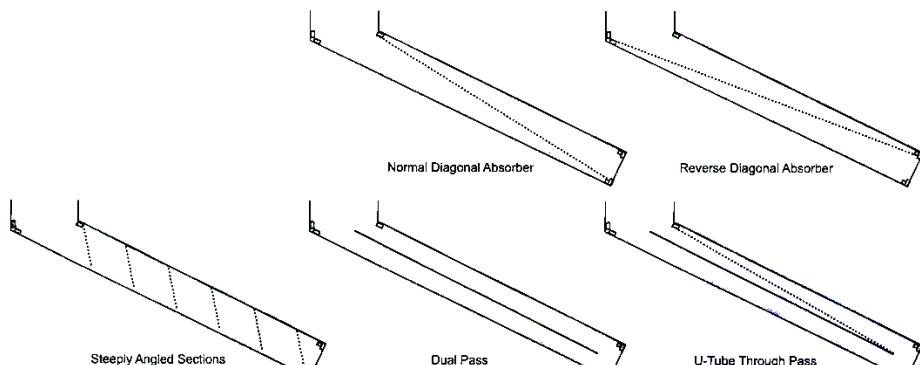
وعند تصنيع صفيحة الامتصاص من الحديد المغلون واستعمالها في المجمع ادت الى زيادة درجة الحرارة بحدود 3.6°C اعلى من الصفيحة الالمنيومية المشبكة ، كما ان زيادة عدد طبقات المشبك المعدني تؤدي الى زيادة قليلة في درجة الحرارة . والافضل هو استخدام المشبات مع وجود صفيحة الامتصاص الاعتيادية لانه يعطي درجة حرارة اعلى مما لو استخدمت المشبات مفردة . كما ان استخدام صفيحة الامتصاص مع المشبك على شكل حرف U لم يفرق معنويا مع استخدام صفيحة مفردة في منتصف المجمع.



شكل (3-2): انواع صفائح الامتصاص المستخدمة لتسخين المياه
 (Gomes et al., 1995, Lunde, 1980)

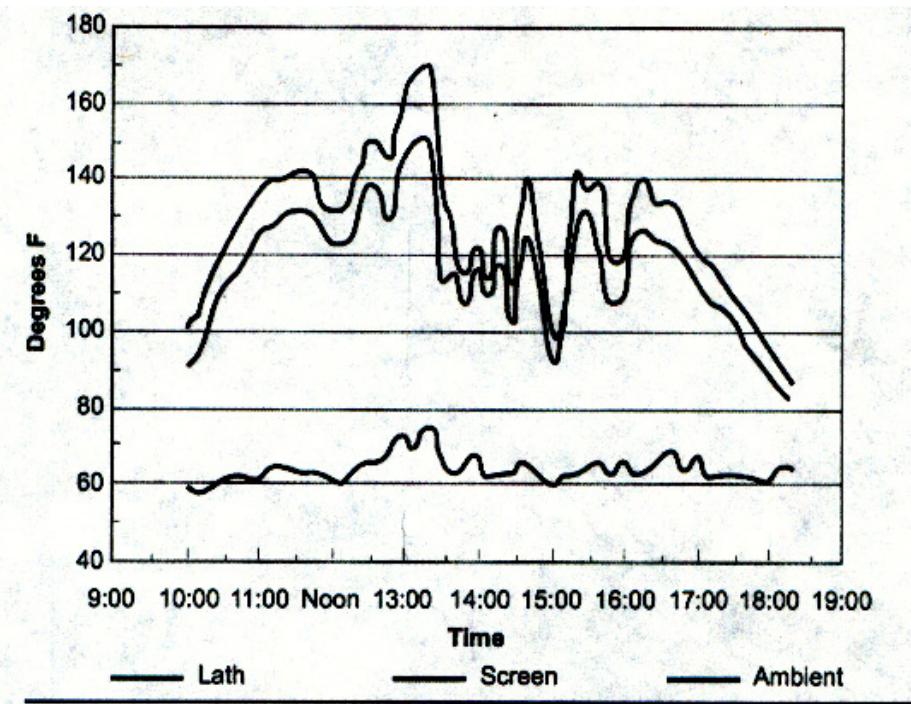


شكل (2-4): أنواع صفائح الامتصاص المستخدمة لتسخين المياه



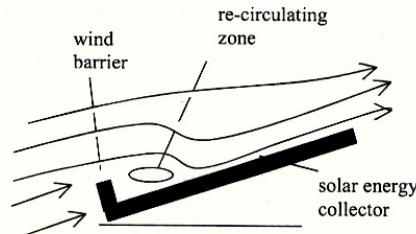
شكل (2-5): أشكال وأوضاع صفيحة الامتصاص في المجمع الشمسي.

(Scanlin, 1997)



شكل (6-2): درجات الحرارة خلال ساعات النهار لأنواع مختلفة من صفائح الامتصاص (Scanlin, 1997)

استخدم *Goms Fico* طريقة لتقليل فقد الطاقة من المجمع الشمسي من خلال اضافة مصد او حاجز للريح *wind barrier* يحيط به. كما في شكل (2-7) ويلاحظ من الجدولين (2-2) و (2-3) ان زيادة ارتفاع المصد يؤدي الى زيادة النسبة المئوية لانخفاض فقد الحراري، وخصوصا عندما يكون الارتفاع 14 سم او اكثر. واستخدم مروحة متغيرة السرعة في التجربة لتمثيل حركة الريح ودرس سرعة الريح وارتفاع المصد على نسبة انخفاض فقد الطاقة والاخيرة ازدادت بزيادة سرعة الريح وارتفاع المصد وهذه النسبة تكون اعلى مما لو استخدم غطائين زجاجيين. وكما هو موضح بالجدولين (2-2) و (2-3).



شكل (2-7): استخدام المصد في المجمع الشمسي.
(Gomes *et al.*, 1995)

جدول (2-2): انخفاض فقد الحراري نتيجة الحمل القسري خلال السطح العلوي من المجمع . سرعة الريح 0.5 م/ثا ، الفرق بين درجة حرارة الدخول والخروج 30 ° م .
(Gomes *et al.*, 1995)

ارتفاع المصد (سم)	زوايا ميل المصد (درجة)	زوايا ميل المصد (درجة)	زوايا ميل المصد (درجة)
30	15	0	
3.4	0.9	2	5
3.4	1.8	4	11
18.7	18.2	14.3	14
27.1	23.6	20.4	18
32.2	29.1	26.5	22

جدول (3-2): مقارنة لانخفاض فقد الحراري بواسطة المصد وطبقتين من الزجاج.
(Gomes *et al.*, 1995)

سرعة الريح (م/ثا)	ارتفاع المصد (سم)	ارتفاع المصد (سم)	استخدام غطائين زجاجيين	النسبة المؤدية لفقدان الحراري (%)
2	5.7	14 سم	3.2	12.9
4	5.8	14 سم	2.2	10.2
5	6	14 سم	6	9.9
6	7.1	22 سم	2.6	11.5
8	8.2	22 سم	1.9	11.4

العزل *Insulator*

يستخدم العازل لمنع تسرب الحرارة من المجمع الشمسي و مقدار العزل يتراوح بين 5 – 15 سم او اكثر تحت صفيحة الامتصاص وعلى الجوانب وبعض الباحثين وجد ان مقدار سمك العزل من الجوانب يساوي نصف سمك العزل من الاسفل . والمواد المستخدمة هي الفايبر كلاس *fiberglass* والصوف الصخري *rock batts* والصوف الزجاجي والبولي ستايرين *polyurethen foam* *polystyren* وايضا نشارة الخشب.

نصب المجمع الشمسي *Solar Collector Setup*

يصنع هيكل المجمع الشمسي في الغالب من الخشب وبعض الاحيان من الالمنيوم وفي حالة الاخير تستخدم حشوات من المطاط لتنبيت الزجاج عليه ويوضع في اسفله وفي الجوانب المادة العازلة ثم يغلف العازل بالخشب او الالمنيوم وحسب ما متوفّر ثم توضع صفيحة الامتصاص ذات اللون الاسود غير اللامع وحسب التصاميم المستخدمة مسبقا وحسب الغاية من المجمع اي انه يستخدم لتسخين الماء او الهواء . ثم تترك فجوة هوائية بين صفيحة الامتصاص والزجاج وكما مر ذكره وقد تستخدم طبقة واحدة او اكثر من الزجاج ويزود المجمع بفتحة لدخول الهواء البارد واخرى لخروجه واذا كان الهدف منه تسخين الهواء اما اذا كان الهدف منه تسخين الماء فيوجد انبوب لدخول الماء البارد واخر لخروج الماء الساخن.

عند نصب المجمع الشمسي فانه يجب ان يكون باتجاه الجنوب ويميل بزاوية مقدارها 15 درجة مسافا اليها قيمة خط عرض المنطقة المنصوب بها شتاءً . اما صيفا فيطرح من قيمة خط العرض 15 درجة. لكي تكون الاشعة الشمسية عمودية على سطح المجمع الشمسي.

طريقة عمل المجمع الشمسي

عندما تسقط اشعة الشمس على سطح المجمع الشمسي فان قسم قليل منها سينعكس واخر يمتص والقسم الاكبر منها ينفذ عبر الزجاج الى صفيحة الامتصاص فتقوم

الاخيرة بامتصاص الطاقة الشمسية التي بدورها تبعث اشعاعات ب一波ات طويلة حسب درجة حرارتها . وان وجود الغطاء الزجاجي يمنع الاشعاعات بالموجات الطويلة من المرور خلاله مما يؤدي الى حصر الطاقة في المجمع الشمسي وبالتالي تسخين صفيحة الامتصاص بشكل اكبر وتنتقل الحرارة منها الى المائع الموجود فيها (هواء او ماء) وبالتالي يمتص هذا المائع الحرارة منها ويتمدد ويزداد حجمه ويرتفع نحو الاعلى بسبب انخفاض كثافته هذا بالنسبة للمجمعات التي تعمل بالحمل الطبيعي اما التي تعمل بقوة قسرية أي تحريك الماء او الهواء بفعل مضخة او مروحة فان الحركة للمائع تكون اسرع وانتزاع الحرارة يكون افضل مما يعكس ايجابا على الكفاءة وبالتالي يمكن الاستفادة من الهواء في عمليات التجفيف والتడفئة وغيرها ومن الماء في عملية التسخين والبسترة والتعقيم وغيرها.

2-1-2 حساب الطاقة الممتصة *Absorbed Energy*

تحسب الطاقة الممتصة بتتابع الخطوات الآتية المبينة من قبل Duffie & Bekman (1980)

حساب الانعكاسية: *Reflectance*

أشار (Whillier 1976) الى ان كمية الطاقة الممتصة لوحدة المساحة تعتمد على كمية الإشعاع الساقط على سطح المجمع الشمسي وعلى زاوية السقوط لذلك الإشعاع وكذلك على امتصاصية سطح الامتصاص للأشعاع الشمسي الذي يعتمد بدوره على نوعية غطاء صفيحة الامتصاص . كذلك تعتمد أيضا على خصائص الغطاء الشفاف وكذلك فقدان الذي يحصل نتيجة للغبار المتراكم على السطح الخارجي للغطاء الشفاف ، فقدان الذي قد يغطي جزءا من سطح الامتصاص . تكون الأشعة الشمسية الساقطة على الغطاء الزجاجي غير مستقطبة ، أي تتكون من مركبتين احدهما عمودية على مستوى سقوطهما والثانية موازية له ، لذا فان انعكاسية المركبة العمودية r_1 والمركبة الموازية r_2 هي:

$$r_1 = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \dots \quad (2-6)$$

$$r_2 = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \dots \quad (2-7)$$

$$r = \frac{(r_1 + r_2)}{2} \dots \quad (2-8)$$

حيث:

r_1 : انعكاسية المركبة العمودية

r_2 : انعكاسية المركبة الافقية

r : معدل المركبتين r_1 و r_2

θ_2 : زاوية الانكسار للشعاع النافذ خلال الغطاء الزجاجي عبر الزجاج

: (Duffie & Beckman , 1980) Snells

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \dots \quad (2-9)$$

وبافتراض ان (n_1) للهواء تساوي (1) وللزجاج تساوي (1.525).

حيث:

n_1 : معامل الانكسار للهواء

n_2 : معامل الانكسار للزجاج

3-4-3 حساب امتصاصية الإشعاع :

ان امتصاصية الإشعاع لوسط انفاذى تعرف بقانون بوجر والذي يعتمد على افتراض ان الإشعاع الممتص يتاسب مع كثافة الوسط والمسافة التي يقطعها الشعاع لذا فان الانفاذية نسبة الى الامتصاصية فقط هي (Whillier , 1976) :

$$\tau_a = e^{\frac{-k_g \times L_g}{\cos \theta_2}} \dots \quad (2-10)$$

حيث:

τ_a : الانفاذية نسبة الى الامتصاصية

k_g : معامل الاضمحلال للزجاج

L_g : سمك الزجاج (ملم)

3-4-3 حساب الموصفات البصرية للغطاء الزجاجي :

يمكن تعين الانفاذية والانعكاسية والامتصاصية للغطاء الزجاجي المفرد مع ادخال تأثير فقدان الانعكاس والامتصاص معا . فالمركبة الموازية تحسب موصفاتها كالتالي : (Duffie & Bekman , 1980)

$$\tau_2 = \tau_a \left(\frac{1 - r_2}{1 + r_2} \right) \left(\frac{1 - r_2^2}{1 - (r_2 \tau_a)^2} \right) \dots \quad (2-11)$$

$$p_2 = r_2 (1 + \tau_a \tau_2) \dots \quad (2-12)$$

$$\alpha_2 = (1 - \tau_a) \left(\frac{1 - r_2}{1 - r_2 \tau_a} \right) \dots \quad (2-13)$$

حيث:

τ_2 : المركبة الافقية للانفاذية

p_2 : المركبة الافقية للانعكاسية

α_2 : المركبة الافقية لامتصاصية

وتحسب موصفات المركبة العمودية كالتالي :

$$\tau_1 = \tau_a \left(\frac{1 - r_1}{1 + r_1} \right) \left(\frac{1 - r_1^2}{1 + (r_1 \tau_a)^2} \right) \dots \quad (2-14)$$

$$\alpha_1 = (1 - \tau_a) \left(\frac{1 - r_1}{1 - r_1 \tau_a} \right) \dots \quad (2-15)$$

$$p_1 = r_1 (1 + \tau_a \tau_1) \dots \quad (2-16)$$

حيث:

τ_1 : المركبة العمودية للانفاذية

α_1 : المركبة العمودية لامتصاصية

p_1 : المركبة العمودية للانعكاسية

لذا تحسب الموصفات البصرية للاشعة غير المستقطبة من معدل المركبتين وكالاتي :

:

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2} \quad (2-17)$$

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} \quad (2-18)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (2-19)$$

حيث:

p : معدل المركبتين العمودية والافقية للانعكاسية .

τ : معدل المركبتين العمودية والافقية ل الانفاذية .

α : معدل المركبتين العمودية والافقية لامتصاصية.

وبالطريقة نفسها يمكن حساب قيم

نتيجة سقوط الإشعاع المنبعث من صفيحة الامتصاص على سطح الغطاء الزجاجي

$$(\alpha_d, \alpha_{11}, \alpha_{22}, p_d, p_{11}, p_{22}, \tau_{11}, \tau_{22}, \tau_d, \tau_{aa}, r_{11}, r_{22})$$

الداخلي بزاوية (θ_3) .

حساب حاصل الامتصاصية الانفاذية Transmittance – Absorptance Product

ان جزء من الأشعة الشمسية النافذة خلال الغطاء الزجاجي والساقطة على صفيحة الامتصاص ينعكس راجعا الى الغطاء الزجاجي ، ولكن معظم هذه الأشعة لايفقد حيث ان جزءا منها سينعكس الى صفيحة الامتصاص . وان الانعكاس المتكرر يؤدي الى زيادة الامتصاصية . ويحسب حاصل الامتصاصية الانفاذية (Duffie & Beckman , 1980) من العلاقة الآتية

: Bekman , 1980)

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) p_d} \quad (2-20)$$

حيث:

$(\tau\alpha)$: حاصل الامتصاصية - الانفاذية

p_d : انعكاسية الغطاء الزجاجي للاشعة المنشرة الساقطة من صفيحة الامتصاص

ويحسب حاصل الامتصاصية - الانفاذية المؤثر من العلاقة الآتية: & Bekman, 1980)

حیث:

(٢٦) المؤثر الانفاذية الامتصاصية حاصل:

a: نسبة معامل الفقدان الحراري العلوي الى معامل الفقدان الحراري من الغطاء

الزجاجي وقيمه تساوي (Duffie & Bekman , 1980) (0.27)

ولهذا فإن الطاقة الممتصة في صفيحة الامتصاص هي:

حیث:

S: الطاقة الممتصة (واط/ m^2)

١- معامل التظليل :

d: معامل الاتساح

1-3 حساب مساحة المجمع الشمسي: Solar Collector Area

وتعتمد على الغرض من استخدام المجمع الشمسي، فإذا كان الغرض منه لتصميم محفف شمسي فيجب حساب الطاقة اللازمة للتجفيف أولاً وكالاتي:

: (Vlachos *et al.*, 2002) معاذلة موازنة الطاقة من

الطاقة المنتزعة = الطاقة اللازمة للتجفيف

$$Q_u = Q_d$$

حپٹ:

Q_u : الطاقة المنتزعة (واط)

من معادلة Hottel_Whillier_Bliss يمكن حساب الطاقة المفيدة الحقيقية :

$$Q_u = A_c F_R [I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)] \dots \quad (2-23)$$

حیث:

F_R : معامل الانتزاع الحراري

U_L : معامل الفقدان الحراري الكلي (واط/م² °C)

T_i : درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجمع الشمسي (°C)

T_a : درجة حرارة الجو (°C)

A_c : مساحة المجمع الشمسي (m²)

وبتعويض المعادلة (23-2) والطاقة اللازمة للتجفيف في معادلة موازنة الطاقة

ينتج :

$$F_R [I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)] A_c = W [4.18 [(0.0 0 8 R) + 0.2] (T_d - T_f) + 225176 (x_1 - x_2)] / t \dots \dots \dots (2-24)$$

$$A_c = \frac{W \left[[(0.0 0 8 R) + 0.2] \times 4.18 (T_d - T_f) + 225176 (x_1 - x_2) \right]}{t [F_R [I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_a)]]} \dots \dots \dots (2-25)$$

ولاجل تسهيل حساب المساحة للمجمعات الشمسية افترض Vlachose et al. (2002) ان:

$$T_i \approx T_a$$

ووجد Garg (1987) و Vlachos et al. (2002) ان قيمة F_R للمجمعات الشمسية هي حوالي 0.7.

4-1-2 حساب كفاءة المجمع الشمسي : Collector Efficiency :

ان احتساب كفاءة كل من المجمع الشمسي والمجفف مهم جدا في تقدير الاستفادة من استخدامهما في تصنيع اغذية معينة مثل التجفيف وبسترة الاغذية السائلة .

تحدث عملية فقدان الحرارة من جوانب المجمع الشمسي جميعها والقسم الاكبر من الفقدان يحدث من صفيحة الامتصاص ويمكن حساب معامل الفقدان الحراري العلوي من معادلة Klien et al. (1974)

$$U_t = \left[\frac{N}{\left(\frac{C_1}{T_p} \right) \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^e} + \frac{1}{h^o} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)}{\left(\epsilon_p + 0.00591Nh^o \right) + \left[\frac{(2N + f - 1 + 0.133\epsilon_p)}{\epsilon_g} \right] - N} \quad (2-26)$$

$$f = (1 + 0.089h^o - 0.116h^o \epsilon_p) (1 + 0.07866N) \quad (2-27)$$

$$h^o = 5.7 + 3.8V \quad (2-28)$$

$$C_1 = 520 (1 - 0.000051\beta^2) \quad (2-29)$$

$$e = 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_p} \right) \quad (2-30)$$

تسرب الحرارة من اسفل المجمع الشمسي حيث يحسب مقدارها باستخدام معامل انتقال الحرارة من السطح السفلي بموجب المعادلة الآتية :

$$U_b = \left[\frac{y_i}{k_i} + \frac{y_w}{k_w} + \frac{1}{h_{b-a} + h_{r,b-a}} \right]^{-1} \quad (2-31)$$

حيث :

N : عدد الاغطية الزجاجية

T_p : درجة حرارة صفيحة الامتصاص (كلفن)

h^o : معامل انتقال الحرارة بالحمل للهواء الخارجي (واط/م² . ك

ϵ_p : انباعية صفيحة الامتصاص

σ : ثابت ستيفان بولتزمان والذي قيمته $5.6697 * 10^{-8}$ (واط/م² . كلفن⁴)

ϵ_g : انباعية الزجاج

U_b : الفدان الحراري السفلي (واط/م² . ك

y_i : سمك العازل (م)

k_i : معامل التوصيل الحراري للعازل (واط/م².م°)

y_w : سمك الخشب (م)

k_w : معامل التوصيل الحراري للخشب (واط/م².م°)

h_{b-a} : معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الخشب والهواء (واط/م².م°)

$h_{r,b-a}$: معامل انتقال الحرارة بالإشعاع بين الخشب والهواء (واط/م².كلفن⁴)

T_a : درجة حرارة الجو (كلفن)

v : سرعة الرياح (م/ثا)

ان فقدان من الجوانب يعتمد على مساحة المجمع الشمسي (Duffie & 1980)

Bekman ,

$$(UA)_e = \frac{P \cdot y}{\frac{y_i}{k_i} + \frac{y_w}{k_w}} \dots \dots \dots (2-32)$$

$$U_e = \frac{(UA)_e}{A_c} \dots \dots \dots (2-33)$$

حيث:

$(UA)_e$: معامل فقدان الحراري لمساحة الجانبية (واط/م².م°)

p : محيط المجمع (م)

y : سمك المجمع (م)

U_e : فقدان الحراري من الجوانب (واط/م².م°)

اذا معامل فقدان الحراري الكلي هو :

$$U_L = U_t + U_e + U_b \dots \dots \dots (2-34)$$

من معادلة Hottel_Whillier_Bliss يمكن حساب الطاقة المفيدة
الحقيقية (Lunde , 1980)

$$q_u = F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_L (T_i - T_a)] \dots \dots \dots (2-35)$$

حيث:

q_u : الطاقة المفيدة (واط/م²)

F_B : معامل الانتزاع الحراري ويحسب من المعادلة الآتية

: (Vaxman & Sokolov , 1985)

$$F_R = \frac{Gc_p}{U_L} \left[1 - \exp\left(\frac{-\bar{f}U_L}{Gc_p}\right) \right]. \dots \dots \dots \quad (2-36)$$

$$\bar{f} = \left[\begin{array}{c} 1 + \frac{U_L}{h} \\ \frac{\sin \frac{\theta_3}{2}}{2} + \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_r} \end{array} \right]^{-1} \dots \dots \dots \quad (2-37)$$

حیث:

G: التدفق الكتلي للهواء (كغم / م² ثا)

f: معامل الكفاءة للمجمع الشمسي.

θ_3 : زاوية التضليل (درجة)

h_r : معامل انتقال الحرارة بالإشعاع (واط/م² كلفن⁴)

يُحسب معامل انتقال الحرارة بالإشعاع من العلاقة الآتية والمذكورة في

(ماضي، 1985)

$$h_r = \frac{\sigma(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \dots \quad (2-38)$$

حِدْثٌ:

T_c : درجة حرارة الزجاج (كلفن)

بالنسبة اذا كان المجمع يعمل بالحمل الطبيعي فيتم حساب رقم كريشوف وكالاتي :

ومن جداول *Holman* لمواصفات الهواء يمكن حساب لزوجة الهواء والموصولة الحرارية له والحرارة النوعية ورقم برانتل والأخير يمكن حسابه ايضا من المعادلة الآتية:

$$Gr = \frac{2g}{(T_p + T_a)\mu^2} \frac{\langle T_p - T_a \rangle L_1^3 \rho^2}{\dots} \quad (2-41)$$

يبينما عندما يكون الحمل قسري فمن خلال معرفة معدل تدفق الهواء وعدد القنوات وشكلها . اذا كانت القنوات دائيرية يحسب معدل التدفق الكتلي m لكل قناة وكالاتي:

$$R_e = \frac{4m}{\mu\pi D} \dots \dots \dots \quad (2-52)$$

قطر الانبوب (م) : D

اما اذا كانت القنوات ليست دائرية في مقطعها العرضي لذا فانه يجب ان يحسب القطر المكافئ (D_e) وكالاتي:

حِدْثٌ:

P : المحيط الميال (م)

A_x : مساحة المقطع العرضية للفناة (m^2)

T_c : درجة حرارة صفيحة الامتصاص (كلفن)

يحسب رقم نسلنت في هذه الحالة اذا كان سطحا القناة ساخنين والقاعدة الثالثة لقطع القناة معزولة تستخدم معادلة $Sarrow$ و $Altmani$ التالية:

$$N_u = 0.019 R_e^{0.781} \dots \dots \dots \quad (2-57)$$

اما اذا كان التسخين منتظم اي تساوي درجة حرارة جميع اسطح القناة فستستخدم معادلة *Petukhov* و *Popov* الآتية:

$$N_u = \frac{(f/8)R_e P_r}{1.07 + 12.7\sqrt{f/8} \left(P_r^{2/3}\right)} \dots \dots \dots \quad (2-58)$$

اذا يحسب معامل الاحتكاك f من المعادلة الآتية:

اما اذا كانت صفحتين متوازيتين ،العلوية ساخنة والسفلى مستوية ومعزولة فستستخدم المعادلة الآتية:

مع الاخذ بنظر الاعتبار ان قيمة القطر الهيدروليكي يساوي ضعف المسافة بين الصفيحتين .

ولهذا فإن الكفاءة يمكن حسابها من خلال قسمة الطاقة المفيدة على شدة الإشعاع الشمسي (Vaxman & Sokolov , 1985) :

حیث:

٪ الكفاءة (%) :

وبتعويض المعادلة (73) بالمعادلة (80) ينتج :

$$\eta = F_R \left[(\tau \alpha)_e - \frac{U_L(T_i - T_a)}{I_T} \right] \dots \dots \dots \quad (2-62)$$

T_i: درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي (م°)

الكفاءة الاجمالية Overall Efficiency

وتمثل الكفاءة لفترة زمنية معينة وتحسب من نسبة الطاقة المنتزعة q_T خلال تلك الفترة الى الاشعاع الشمسي الكلي خلال تلك الفترة مضروبا في مساحة صفيحة الامتصاص المعرضة لذلك الاشعاع.

$$\eta = \int_0^t q_T dt / A_c \int_0^t I_T dt \dots \dots \dots \quad (2-63)$$

حسب q_T من المعادلة الآتية :

m : كتلة المائع المستخدم (كغم)

: درجة حرارة الماء النهائي (T_f^0)

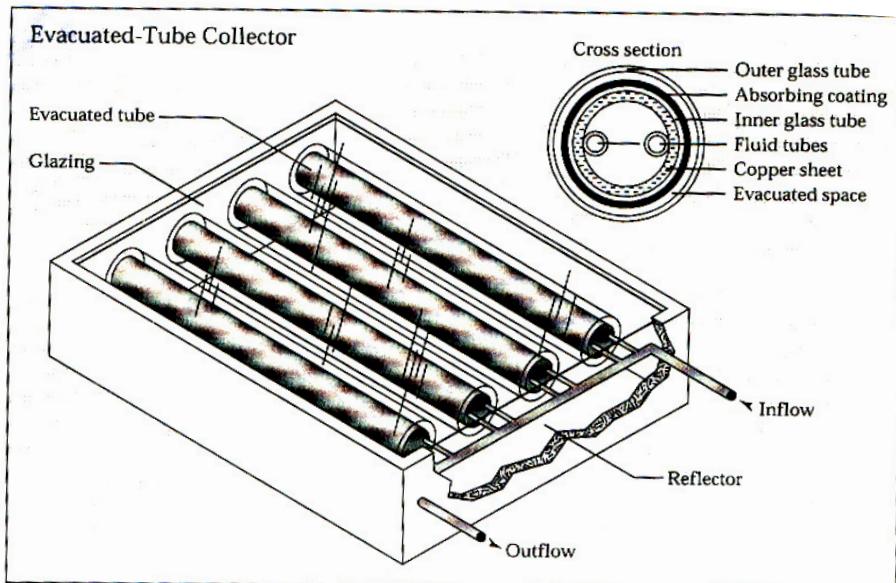
٢: زمن التشغيل (ثانية)

المجمع الانبوي المفرغ Evacuated tube collector

يتكون هذا المجمع من أنبوبين أو ثلاثة أنابيب متمركزة ، يكون الحيز بينهم مفرغاً من الهواء ويطل على السطح الخارجي للأنبوب الداخلي بطلاء ماص للحرارة من سطح الامتصاص بواسطة أنبوب يجري فيه مائعاً معيناً محاذياً للسطح الداخلي للأنبوب الداخلي . شكل (10-2) ، وهذا يعمل الحيز المفرغ من الهواء كغاز حراري . ويكون الفقد بالطاقة نتيجة التوصيل والحمل معden بسبب عدم وجود هواء يوصل الحرارة او يتحرك هنالك ، بينما يحصل فقد نتيجة الاشعاع حيث تنتقل من السطح الساخن الى السطح البارد والى المحيط الخارجي حتى بوجود التخلخل بالضغط ، وهذا الفقد يكون قليلاً جداً مقارنة مع الطاقة المنقوله الى الماء عبر أنبوب الامتصاص .

يستفاد من الاشعاع الشمسي المباشر بكفاءة عالية للحصول على درجات حرارة عالية كتلك التي تحتاجها التطبيقات الصناعية. بينما تكون كفاءته منخفضة في التطبيقات ذات درجات الحرارة الواطئة كتسخين الماء او الهواء مقارنة مع المجموعات المستوية. ويمكن ان توضع الانابيب المفرغة في صندوق ويكون على شكل مجمع

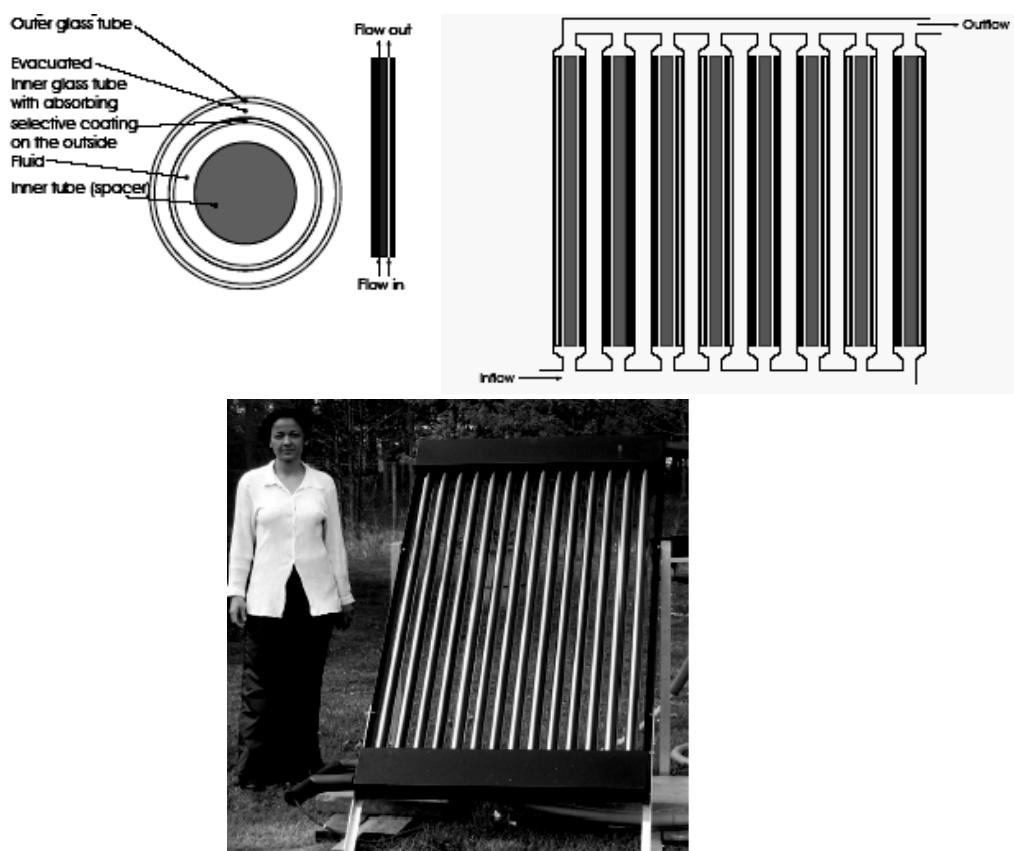
شمسي انبوبي مفرغ وكما في الشكل (10-2) الذي طاقته الاستيعابية 5 كالون (19) لتر من الماء لكل انبوب وهو لا يحتاج الى خزان اضافي لخزن الماء الحار . كما يمكن وضع عاكسات خلف الأنابيب المفرغة تعمل كمركزات للأشعة التي تعكسها الى الأنابيب . وهذا النوع من المجمعات تكون كفاءته أعلى من المجمعات المستوية لسببين هما ، أولاً أداءه جيدا في كلاً من الاشعاع الشمسي المباشر وال منتشر وهذه الميزة ترتبط مع حقيقة وهي ان المفقودات الحرارية من الأنابيب المفرغة الى المحيط الخارجي قليلة جدا . وهذه الميزة تجعلها تستخدم في الأماكن الباردة وفي ايام الشتاء الغائمة . اما السبب الثاني وهو بما ان الأنابيب شكلها دائري لذلك تكون أشعة الشمس عمودية عليها باستمرار مما يجعل عملية امتصاص الطاقة مستمرة خلال اغلب ساعات النهار المشمسة . وهذه الميزة غير موجودة في المجمعات المستوية حيث ان الشمس تكون عمودية عليها فقط عند منتصف النهار .



شكل (10-2):المجمع الأنبوبي المفرغ.(EERE,1996)

يوضح الشكل (11-2) مجمع انبوبي مفرغ يتعرض للأشعاع الشمسي من جميع الجهات مصنوع من قبل شركة Sun Gain . وهو يحتوي على أنابيب زجاجية مزدوجة مفتوحة من نهايتها ، الأنابيب الزجاجي الداخلي مطلي بطلاء انتقائي

والماء يتحرك من الاسفل الى الاعلى وهو يتحرك في الفجوة الموجودة في الانبوب الداخلي وانبوب الامتصاص وهذا النوع يتطلب كمية قليلة من الماء وان معامل الانقال الحراري من انبوب الزجاج الداخلي الى الماء موجود في المجمع كبير. هذا المجمع يتكون من 14 انبوب مفرغ موضوع بعد مرکزي مقداره 0.067 م ،هذه الانابيب متصلة مع انبوبين متشعبين وموضوعة في انبوب معزول . طول الانابيب 1.6 م وجء منها مقداره 0.067^2 م موجود داخل صندوق الانابيب المتشعبين وان الطول الفعلى للانابيب المعرضة لأشعة الشمس هو 1.47 م . القطر الخارجي للانبوب الخارجي هو 0.047 م والقطر الخارجي للانبوب الداخلي هو 0.037 م والمجمع باكمله يميل بزاوية 45 درجة باتجاه الجنوب.



شكل (2-11):المجمع الشمسي الأنبوبي المفرغ.(Shah,*et al.*,2004)

المجمعات الشمسية الأنبوبية (ETC)

وتصنف الى مجموعتين هما :

اولاً: مجمعات ذات أنابيب الجريان المباشرة: هذا المجمع يتكون من مجموعة من الانابيب الزجاجية ، بداخل كل منها صفيحة المنيومية مستوية أو منحنية وتكون ملحقة بانبوب زجاجي او معدني (عادة يستخدم النحاس) . هذه الصفيحة تطلى باصباغ منتخبة مثل *Tinox* والماء يتحرك في انبوب لدخول الماء والآخر لخروجه.

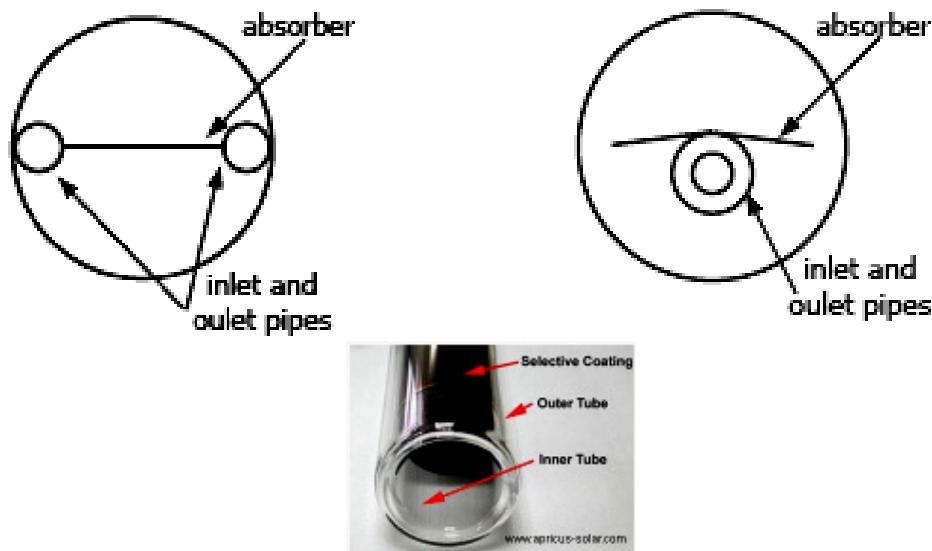
هناك أنواع عديدة من المجمعات تصنف حسب توزيع الأنابيب بداخلها:

1-مجمعات ذات مركز لدخول الماء وخروجه (زجاج - معدن).كما في شكل (2-11).

2-مجمعات ذات انابيب منفصلة لدخول وخروج الماء (زجاج - معدن).كما في شكل (2-11) . يعتبر هذا النوع من الانواع التقليدية من المجمعات الانبوبية المفرغة وجء الامتصاص اما ان يكون مستو او منحني .

3-مجمع نوع Sydney (زجاج - زجاج) ويكون من انبوبان زجاجيان ملتحمان سوية عند نهايتيهما ، الانبوب الداخلي مطلي بطلاء معدني منتخب ويمثل الممتص . كما في شكل (2-11).

ان النوعين (الاول والثاني) كفوعين جدا عند التطبيقات التي تتطلب درجات حرارية واطئة مثل التسخين وإنتاج الماء الحار. ولكن المشكلة التي تتعلق بهذه التصاميم هي فقد التخلخل بالضغط داخل الانابيب مع الزمن نتيجة حدوث تسرب فيها. هنالك تصميم اخر للمجمعات الانبوبية المفرغة تحتوي على انبوب مركزي مثبت تحت صفيحة معدنية سوداء ومقدار التخلخل بالضغط بين الانبوبين هو 10^{-4} ملم زئق . كما في شكل (2-12) .



شكل (2-12): مجمع أنبوبي ذي أنابيب متعددة

توجد تصاميم أخرى أيضاً وتعطي درجات حرارة متوسطة تتراوح بين 100 - 150 ° م° ومقدار الضغط فيها أقل من 1 كيلو باسكال وكما هو موضح في الشكل (2-13) . وتحسب كمية الحرارة المتحصل عليها بواسطة المجموعات الانبوبية المفرغة كالاتي:

$$Q_{abs-cov} = A_{abs} \varepsilon_{eff} \sigma (T_{abs}^4 - T_{cov}^4) = A_{cov} h_a (T_{cov} - T_a) \quad \dots \dots \dots (2-65)$$

حيث :

A_{abs} : مساحة سطح الامتصاص.

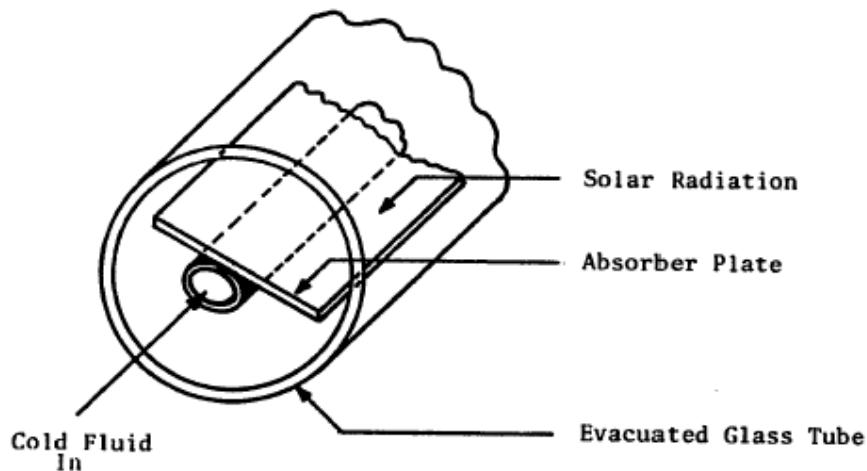
A_{cov} : مساحة سطح الغطاء.

الانبعاثية المؤثرة تحسب من المعادلة الآتية:

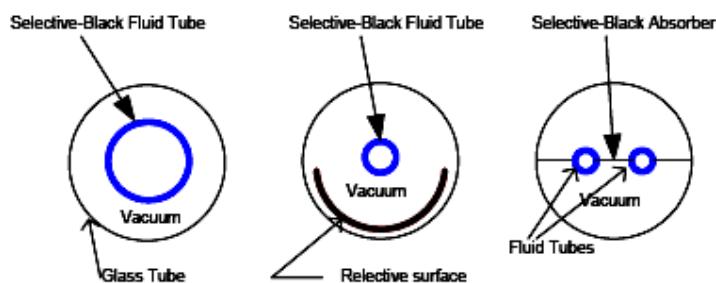
$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \dots \dots \dots (2-66)$$

ε_1 و ε_2 تمثل الانبعاثية لسطح الامتصاص وسطح الغطاء.

$$\varepsilon_{\text{eff}} \approx \varepsilon_{\text{abs}} \text{ for } \varepsilon_{\text{cov}} \approx 0.9 \text{ and } \varepsilon_{\text{abs}} \leq 0.2$$

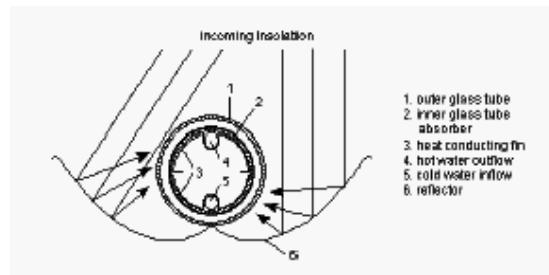


شكل (2-13): مجمع أنبوب ذي صفيحة سوداء. (Rahman, 1981).



شكل (2-14): مجمعات أنبوبية مركزية تجهز درجات حرارة متوسطة. (Pridasawas, 2006)

بعض المجمعات الشمسية الانبوبية المفرغة تتضمن عاكسات خلف الانابيب او بجانب الانبوب الزجاجي ، وهذا يزيد من كمية الاشعاع الساقطة على الانابيب . كما موضح في شكل (2-14).



شكل (2-15): مجمع أنبوبي مركز مزود بعاكسات.

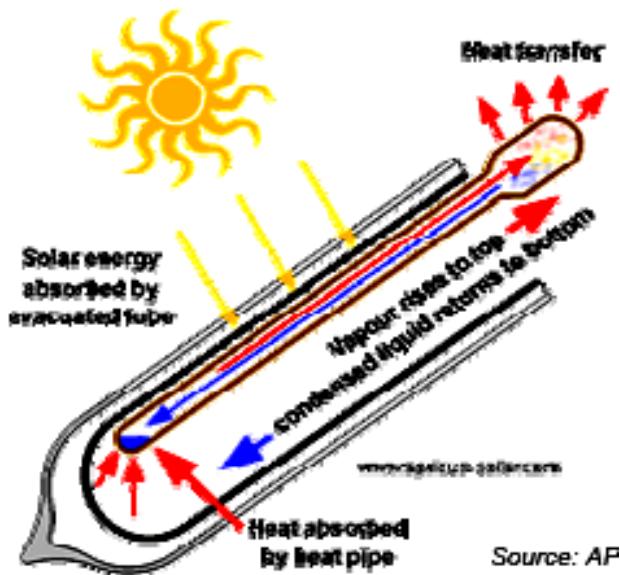
ثانياً: المجمعات الشمسية ذات الأنابيب الحرارية

في هذا النوع يكون الانبوب الحراري مجوف وموضع بداخل حيز مفرغ من الهواء والهدف من ذلك ليس العزل الحراري ولكن من اجل حدوث تغير حالة السائل الداخلي حيث يوجد بداخل الانبوب الحراري كمية قليلة من الماء النقي وبعض المضافات الخاصة . نتيجة للتخلخل بالانبوب فان الماء يغلي بدرجة حرارة منخفضة وهي 30 درجة مئوية وعندما يسخن الانبوب الحراري اكثر من 30 م° فان الماء يتbxر ويرتفع البخار بسرعة الى اعلى الانبوب الحراري وينقل الحرارة الى المكثف حيث تفقد هنالك ويتكثف البخار ويتحول الى سائل ويعود الى اسفل الانبوب الحراري وتستمر العملية هكذا . كما في شكل (2-16).

نوعية المعدن والنظافة مهمة بدرجة كبيرة لتصنيع انبوب حراري ذو نوعية جيدة هنا نقاوة النحاس يجب ان تكون عالية جداً ويحتوي على كمية من عنصر الاوكسجين وعناصر اخرى . اذا كان محتواه من الاوكسجين والعناصر الاخرى كبير فإنه سوف يحدث ترشيح للخارج من الهواء في اعلى الانبوب وهذا يمنع انتقال الحرارة الى اعلى الانبوب الحراري ويوقف عمل المكثف .

غالباً الانابيب الحرارية تستخدم فتيلية او نظام شعرى لمساعدة على جريان السائل وهذا ليس ضروري اذا كان السطح الداخلى للنحاس ناعم جداً ويسمح بجريان السائل بكفاءة وبسهولة .

الأنبوب الحراري له مكونين من النحاس هما العمود والمكثف والأخير له قطر اكبر بكثير من العمود وذلك لتكوين مساحة سطحية كبيرة لعرض زيادة انتقال الحرارة وهذا الاتصال بين الممتص والسخان يكون جافا وهذا يجعل عملية العزل سهلة.



شكل (16-2): مجمع أنبوبي حراري مفرغ.

Concentrated Solar Collectors

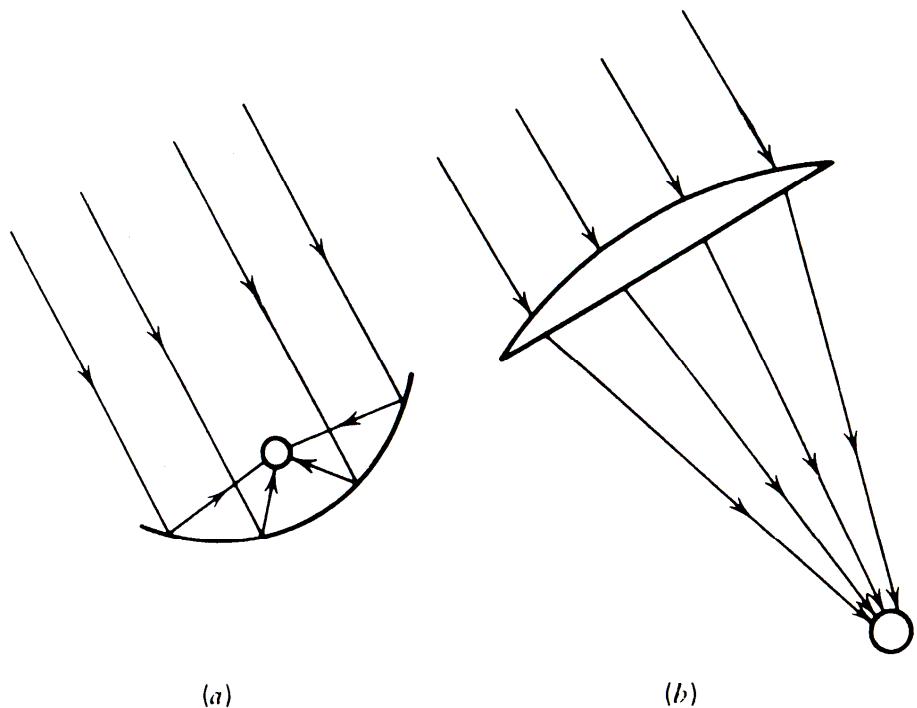
المجمعات الشمسية المركزية

وتعمل على اساس تركيز الاشعة الشمسية باستخدام مرايا عاكسة وهذه المجمعات تجهز درجات حرارة مرتفعة اكتر من بقية المجمعات الاخرى كما انها تحتاج الى اجهزة نعقيب الشمس لضمان تركيز الاشعة على سطح الامتصاص التي تحتوي على مائع التشغيل .

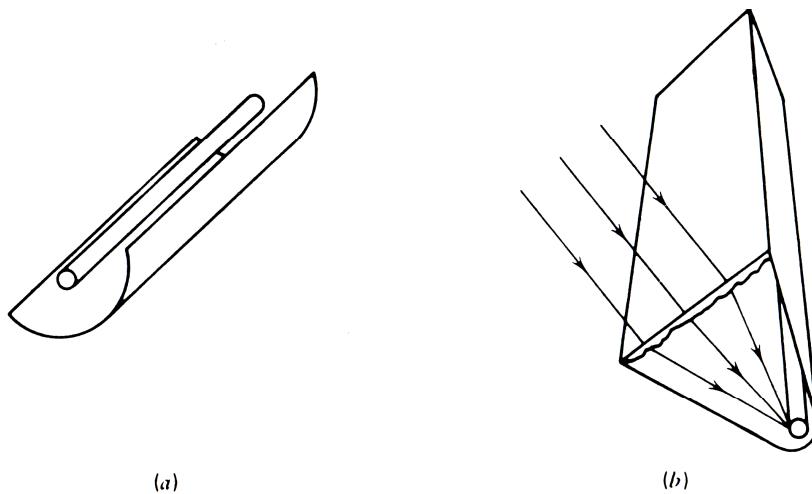
يتم تركيز الاشعة بصريا قبل تحويلها الى طاقة حرارية وكذلك مقدار فقدان الحراري في هذه المجمعات يكون قليل بسبب صغر المساحة السطحية لسطح الامتصاص.

Parabolic Concentrators

تستخدم عدسات شفافة تسمى بالعاكسات او المراة وايضا تستخدم الواح زجاجية شفافة تقوم بحماية المنظومة من الاتربة ، وتعزل اسطح الامتصاص عن المحيط . القطع المكافيء يقوم بعكس الاشعة الشمسية وتركيزها على اسطح الامتصاص والاشعة المركزة اما ان تنتج عن انكسار الاشعة بعد مرورها بالعدسة او انعكاسها على سطح الامتصاص.نتيجة سقوطها على القطع المكافيء العاكس وكما هو موضح في شكل (17-2) و (18-2). ينفل الاشعاع بزوايا مختلفة وبالنتيجة ينعكس كله على جزء الامتصاص وهذا النوع من المجمعات لا يحتاج الى عملية تعقيب للشمس



شكل (17-2):الاشعاع الشمسي الساقط على المجمعات الشمسية a:انعكاس الاشعة
b : انكسار الاشعة.



شكل (1-18): a:المركبات الشمسية ثنائية البعد b: انكسار الاشعة

(Lunde, 1980)

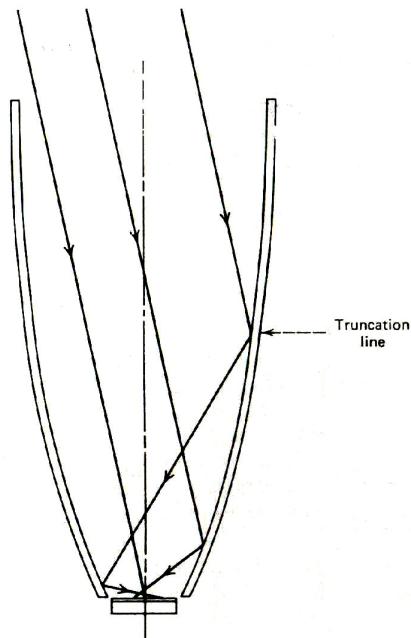
تعرف نسبة التركيز على أنها نسبة مساحة الفتحة التي يمر من خلالها الإشعاع إلى مساحة سطح الامتصاص .

هناك نوع من المركبات يسمى المركز ذو القطع المكافئ المركب *Compound Parabolic Concentrator (CPC)* شكل (2-18).

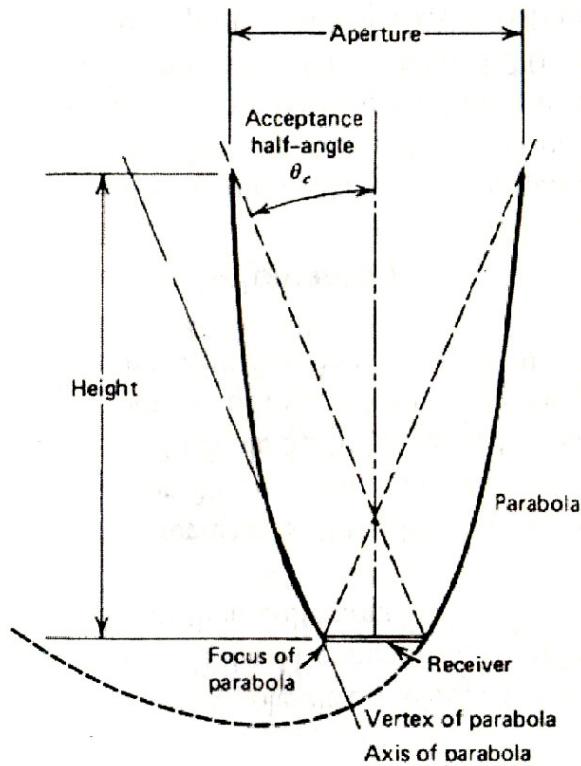
يوضح الشكل (2-19). مجمع شمسي مركب متماثل وفيه ينسل كل الإشعاع الشمسي الداخل إلى المجمع الشمسي إلى المستلم ويحسب الـ C_i كالتالي:

$$C_i = I / \sin \theta_c \quad \dots \dots \dots \quad (2-56)$$

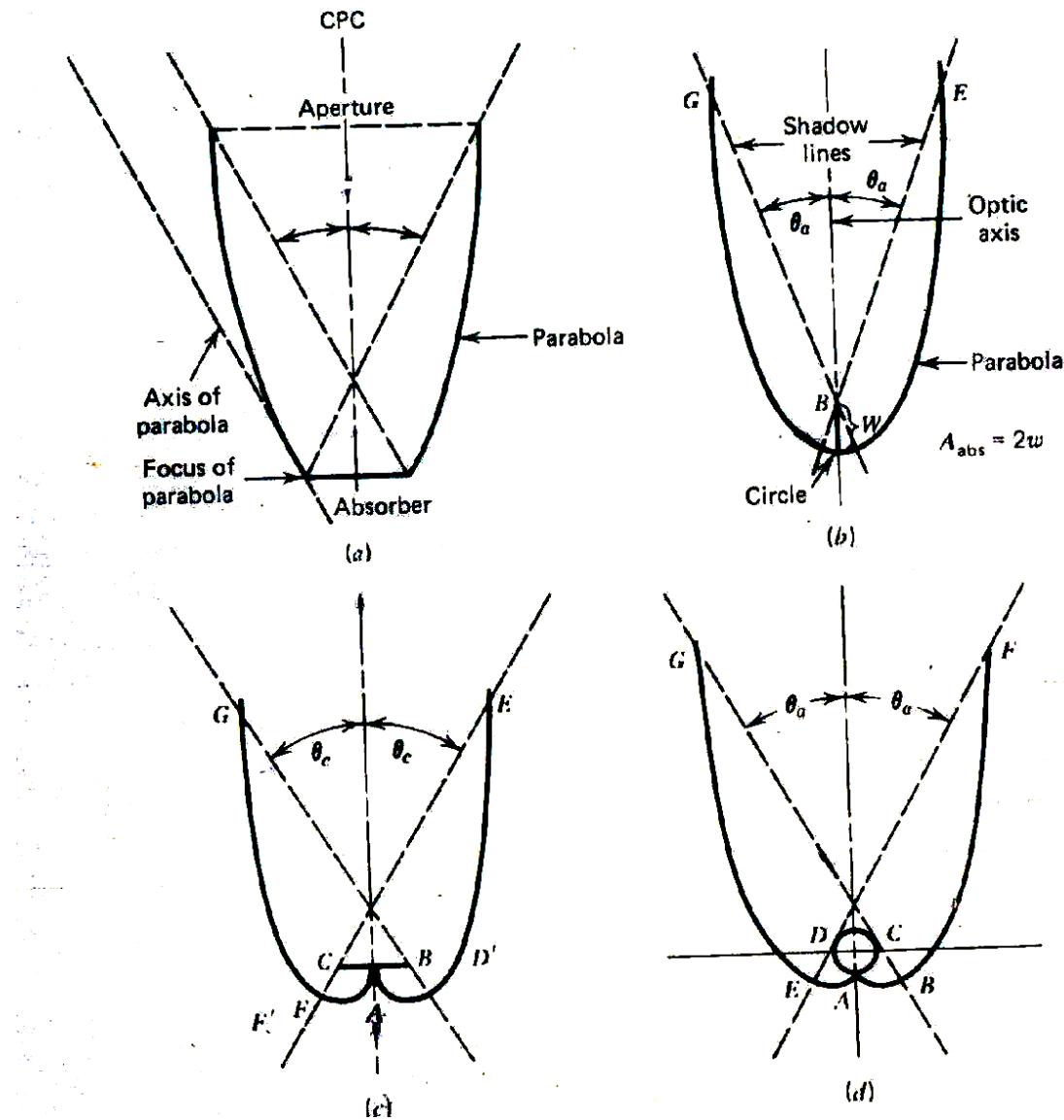
يوضح الشكل (2-21) مجمعات شمسية مركبة متعددة فالشكل (2-21a) يوضح أن جزء امتصاص الإشعة يكون مستوي ومن جانب واحد ، أما الشكل (2-21b) يكون جزء الامتصاص ذو زعنفة عمودية ومن جانبين ، والشكل (2-21c) يكون جزء الامتصاص فيه أفقي ، والشكل (2-21d) يبين أن جزء الامتصاص هو عبارة عن أنبوب



شكل (2-19): المجمع الشمسي المركب المركب.
(Lunde,1980)

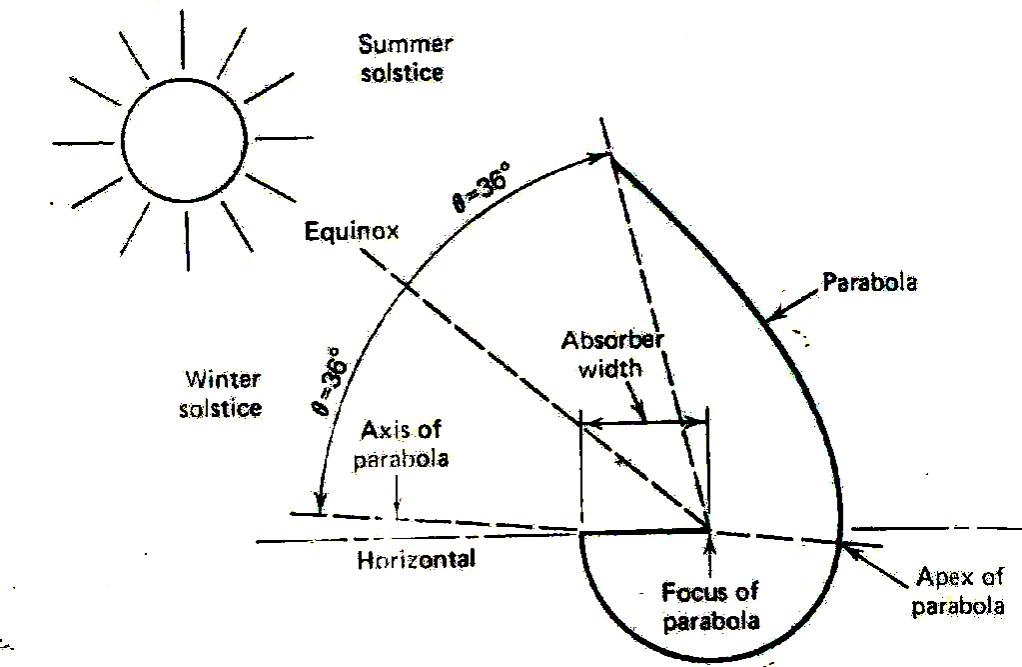


شكل (2-20): المجمع الشمسي المتناضر.(Adsten,2002)



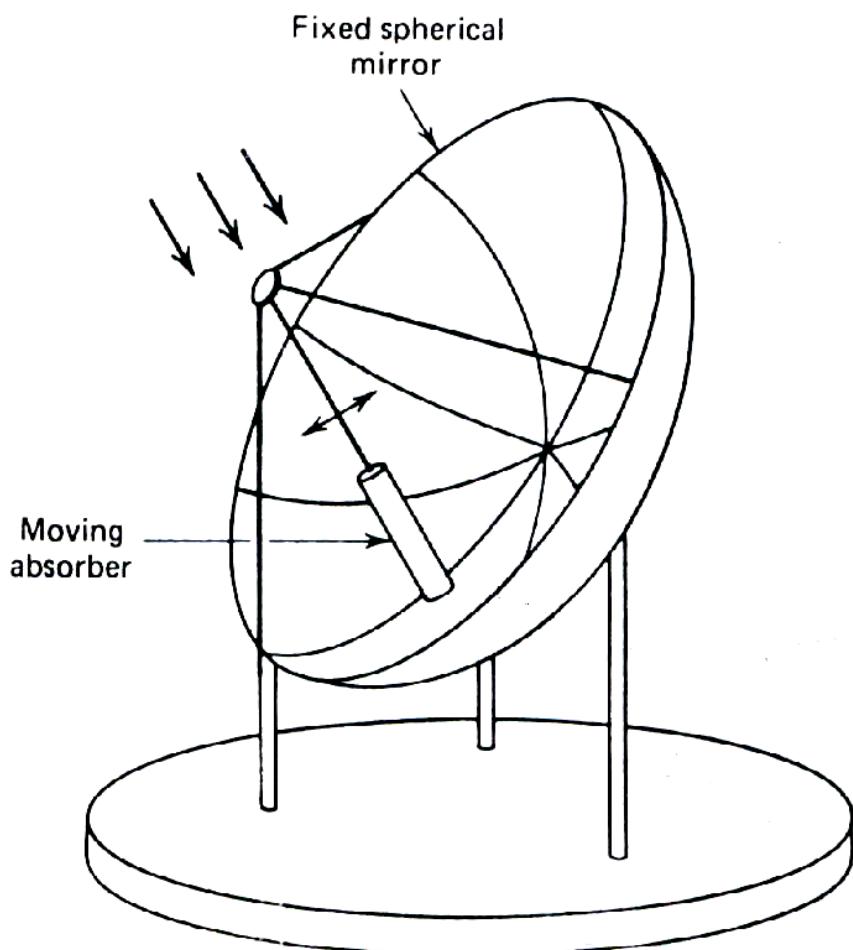
شكل (2-21): مجمعات شمسية ذات قطع مكافئ مركبة لإشكال مختلفة من الممتص. (Lunde, 1980)

هناك مركبات ذات قطع مكافئ مركبة وغير متماثلة *Non Symmetrical CPC* وكما هي موضحة في شكل (2-22).

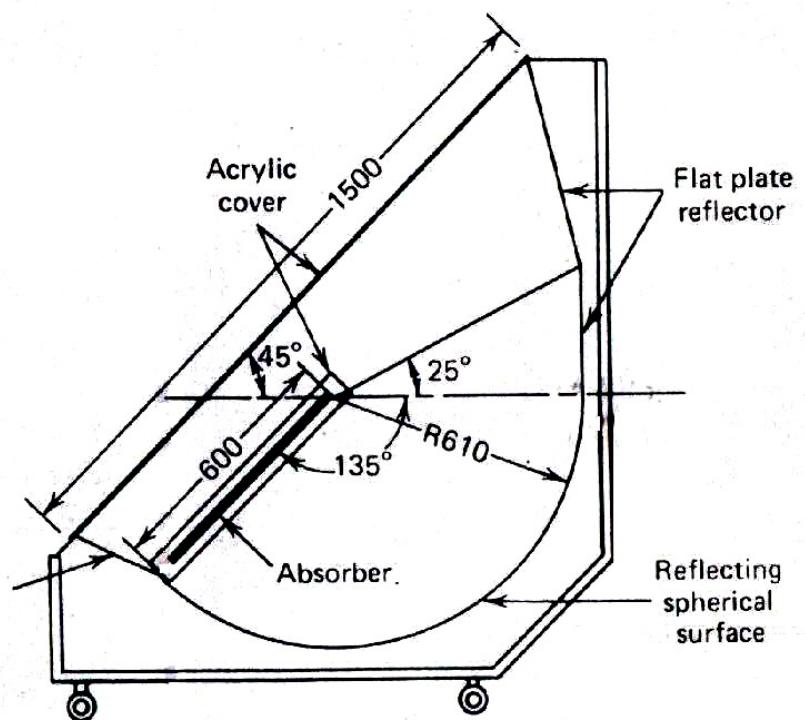
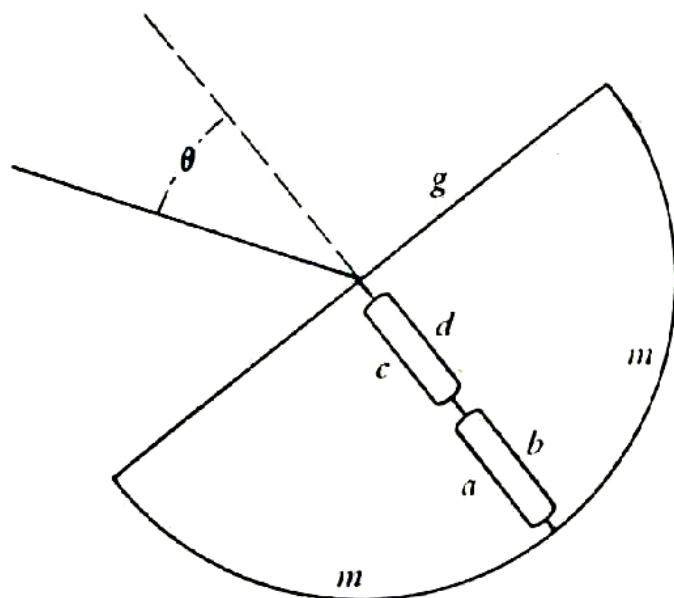


شكل (2-22): مركز شمسي ذي مقطع مكافيء مركب وغير对称.

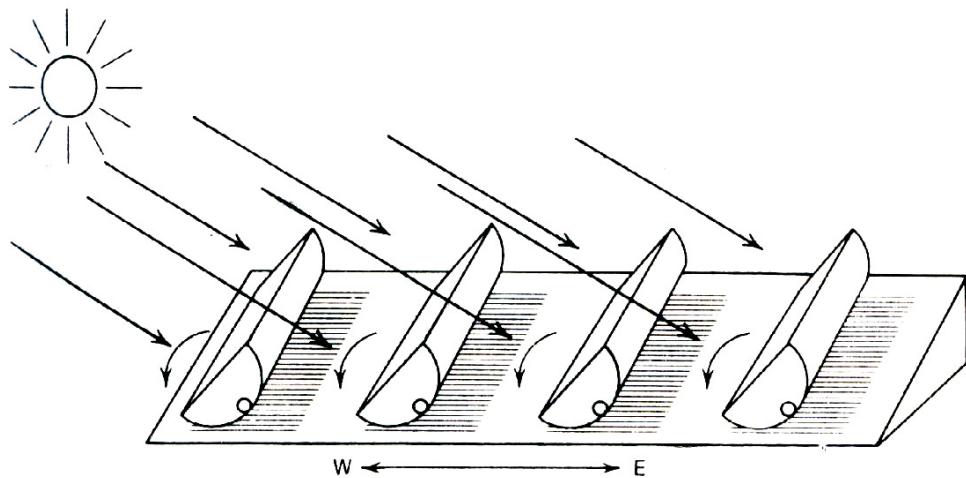
تحتاج المجمعات الشمسية المركزية ثلاثة الأبعاد إلى منظومة تعقب لغرض تتبع أشعة الشمس وكما هو موضح في شكل (2-23).
وهنالك تصاميم أخرى للمجمعات الشمسية المركزية وكما هو موضح في الأشكال (2-24) و (2-25) و (2-26) و (2-27).



شكل(2-23): مجمع شمسي مركز ثلاثي الابعاد ذو منظومة تعقب.
(Lunde, 1980)



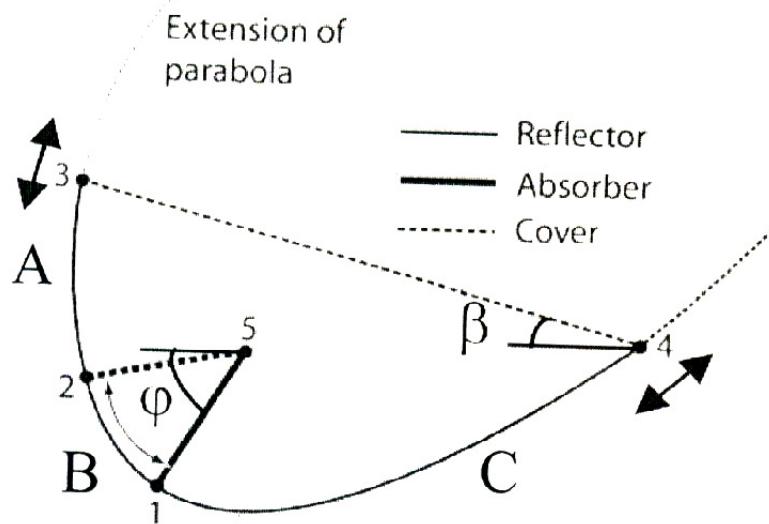
شكل (2-25): مجمع شمسي مركز ذو عاكسات متعددة للاشعة على الجزء الممتص.



شكل (2-26): مجموعة من المركبات الشمسية ذات القطع المكافئ.

هناك مركبات تشبه الحوض وهي من نوع CPC وكما هي موضحة في شكل (2-27). الجزء A العاكس ذي القطع المكافيء العلوي من النقطة 2-3 . الجزء B يمثل العاكس الدائري المركز ويمتد من النقطة 1-2 . الجزء C العاكس ذي القطع المكافيء السفلي ويمتد من النقطة 1-4 . يوضع الزجاج بين النقطتين 3-4.

١



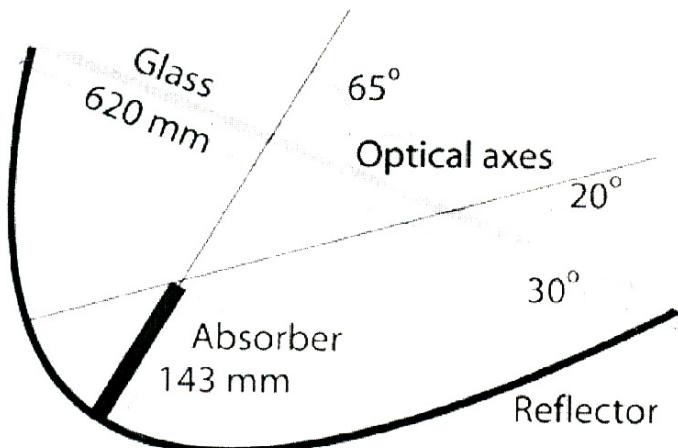
شكل (2-27): مركز شمسي يشبه الحوض CPC (Adsten,2002).

حيث ان:

β : زاوية ميل السطح المعرض للأشعة

φ : زاوية ميل الممتص

ويوضح الشكل (28-2) ابعاد هذا المجمع الشمسي المركز.



شكل (28-2): ابعاد المجمع الشمسي المركز من نوع CPC (Adsten,2002).

لتصميم مجمع شمسي ذو قطع مكافيء بحسب الطريقة التي بينها Pidhuwan (2004) et al. واكد على ان المجمع الشمسي المركز ذو القطع الناقص (PCC) يتكون من ثلاثة اجزاء هي الممتص والمجمع حيث استخدمت صفيحة من الحديد المقاوم للصدأ 304 Stainless steel في تصنيع المجمع 12×24 سم² وسمكها 3 ملم ، وضعت اسفل القطع الناقص لغرض عكس الاشعة الشمسية المباشرة الى الممتص ونصف قطرها 57.3 سم وعرضها 99.2 سم .

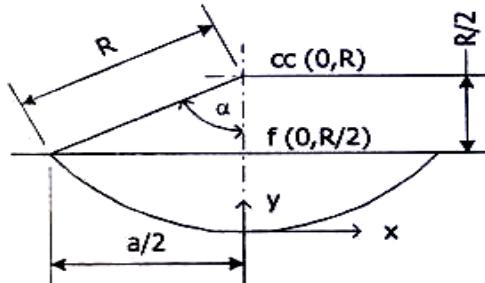
اما المواد الداخلة في تصنيع الممتص فهي انبوب من الحديد الخالي من الكاربون less carbon steel pipe قطره الداخلي 4 سم والخارجي 4.8 سم وطوله 292 سم اما الجزء الثاني من المنظومة هي منظومة التجميع الحراري heating collection system وت تكون من هيكل ومبادل حراري انبوبي يحتوى على زيت حراري كمائع تشغيل لغرض نقل الحرارة من الممتص الى الماء.

الجزء الثالث هو المضخة الترسية وتستخدم لنقل الزيت الحراري .

زاوية الحافة $rim angle$ هي 180 درجة ويمثل x المحور الذي يوضع عليه المنحنى و y تمثل خط المركز من البؤرة و R هي نصف قطر قطع منحني المكافئ و f تمثل الخط البؤري وكما هو موضح في شكل (29-2).

$$x^2 = 2Ry \quad (1)$$

$$f = R/2 \quad (2)$$



شكل (2-29): ابعاد المجمع الشمسي المركز ذو القطع المكافئ.

$$X^2 = 2Ry \quad (2-57)$$

$$F = R/2 \quad (258)$$

$$R/2 = R \cos \alpha \quad (2-59)$$

$$\cos \alpha = (R/2)/(1/R) \quad (2-60)$$

بما ان طول المنحنى 1200 ملم و α تساوي 60 درجة لذلك يمكن ايجاد R بدلالة الطول وكالاتي:

$$b_{2\pi} = 2\pi r \quad (2-61)$$

$$R = [b(1800)]/[2\pi\alpha] \quad (2-62)$$

لایجاد نسبة التركيز c تستخدم النسبة بين مساحة التجميع A_a ومساحة الامتصاص A_r

$$C = A_a / A_r \quad (2-63)$$

$$a/2 = R \sin \alpha \quad (2-64)$$

$$a = 2R \sin \alpha \quad (2-65)$$

عندما a تمثل عرض المجمع الشمسي وهي تمثل عرض الممتص.

Absorber الممتص

لغرض تصميم الممتص يجب معرفة الانابيب الموصلة لمائع التشغيل وسرعته والفقد الحراري. استخدم انابيب من الحديد الخالي من الكاربون قطره الداخلي 40 ملم

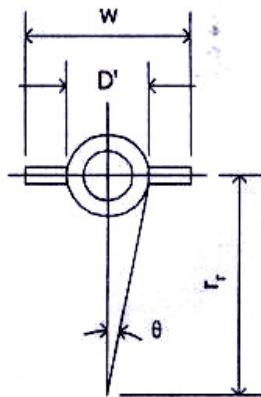
و قطره الخارجي 48 ملم و طوله 2920 ملم والوقت المستخدم هو الساعة 10:30 الى 14:00 . ويوضح الشكل (30-2) عرض الخط البؤري حيث D تمثل عرض الممتض

$$D=2r_r \sin 0.267 \dots \dots \dots \quad (2-66)$$

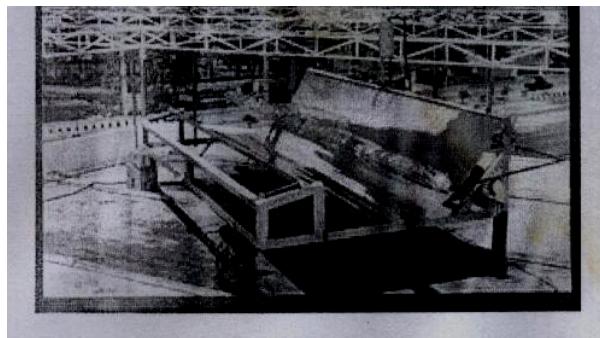
المجموع في هذه الحالة يكون ثابت لذلك فان زاوية الارتفاع *altitude angle* سوف تكون مؤثرة على التماضر لجميع الاوقات وانها تتحرك 10 درجة باليوم والانبوب طويل جدا وتم الحاق شريطين به مصنوعان من الحديد المحتوي على الكاربون *carbon steel* لغرض زيادة مقاومة الممتص وعرض الشريط 25 ملم لذلك يكون عرض الممتص الكلي 98 ملم $[48 + 25 \times 2]$ وكما هو موضح في شكل (2-30).

لذلك فإن نسبة التركيز تحول إلى

حيث L تمثل الطول للمجمع وانبوب الممتص معامل refraction coefficient للالمجمع يتراوح من 0.8 - 0.85 بحسب ما اكده Aginhotri&Gupta(1981) يطلى انبوب الممتص بطلاء اسود ويعزل بواسطة الليف الزجاجي fiber glass على جزءه العلوي. ويوضح الشكل (30-2) ابعاد المجمع . ويوضح الشكل (31-2) صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي ذي القطع المكافيء.



شكل (2-30): الانبوب الممتص في المجمع الشمسي المركز.

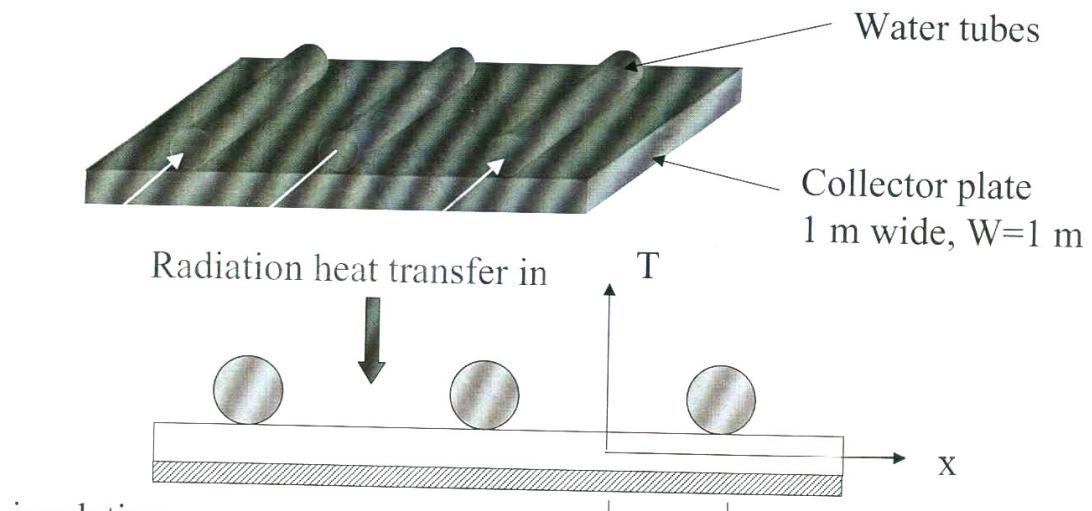


شكل (2-31): صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي المركز.

دراسة توزيع درجة الحرارة في صفيحة الامتصاص للمجمع الشمسي المستخدم لتسخين الماء
عند افتراض ان طاقة الاشعاع الشمسي القادر الى صفيحة الامتصاص ثابتة ويرمز لها q وذلك لغرض التبسيط وافتراض ان درجة الحرارة تحت انبوب الماء ثابتة ايضا، حيث:

$$T(x=L)=T_0$$

ان الفيض الحراري الناتج من الطاقة الشمسية توليد مستمر في الصفيحة ومقداره



شكل (2-32): صفيحة امتصاص يجري فيها الماء

\dot{q} ويساوي 700 واط^2 . وافتراض ان توزيع الحرارة متباين في الصفيحة التي سمكها δ وتساوي 1 ملم

$$\dot{q} = q'' / \delta = 700000 \text{ W/m}^3$$

q : الفيض الحراري (واط^2)

$$2L = 2 \text{ cm}, L = 10 \text{ cm}$$

$$\nabla^2 T + \frac{q}{k} = 0, k = 240 \text{ W/mK}$$

المساحة الفاصلة بين الانابيب هي

معادلة الانتشار الحراري هي:

ان قيمة الموصلية الحرارية للألمنيوم هي 240 ($\text{واط}\cdot\text{كلفن}$) .

$$\frac{dT}{dx}(x=0) = 0, T(x=L) = T_0 = 40^\circ C \quad \text{عند الظروف الحرية:}$$

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = -\frac{\dot{q}}{k}$$

عند تكامل المعادلة مرتين نحصل على:

$$T(x) = -\frac{\dot{q}}{2k}x^2 + Ax + B$$

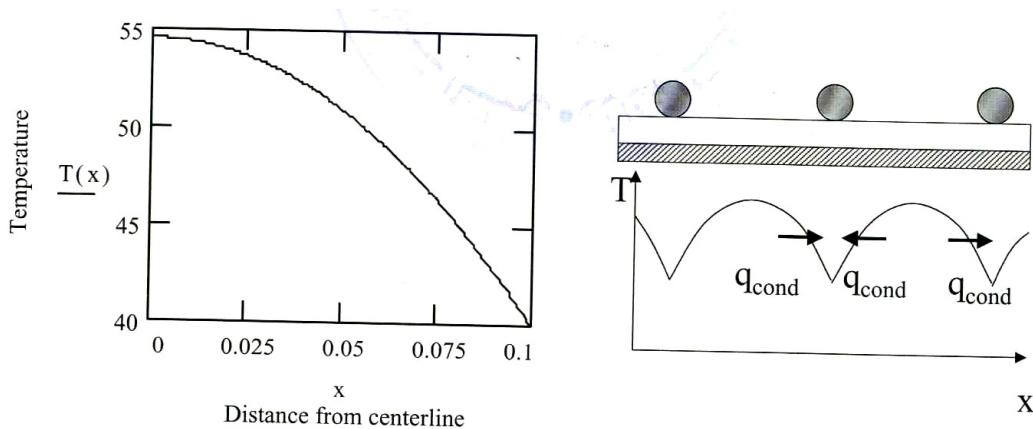
عند تطبيق الظروف الحدية:

$$A = 0, B = 40 + \frac{\dot{q}}{2k}L^2$$

$$T(x) = 40 + \frac{\dot{q}}{2k}(L^2 - x^2) = 40 + 1458.3(0.01 - x^2)$$

حيث x تمثل المسافة من خط المركز.

تمثل المعادلة 5 توزيع درجة الحرارة على صفيحة الامتصاص وتطبيقاتها
تحصل على العلاقة بين درجة الحرارة والمسافة من خط المركز وهي تتناقص مع
زيادة المسافة. وكما هو موضح في الشكل (2-9).



شكل (2-33): تغير درجة الحرارة مع زيادة المسافة من مركز

$$q''_{cond} = -k \frac{dT}{dx} = \dot{q}_x$$

انتقال الحرارة الى الانابيب

$$q(x) = q''_{cond} A = q''_{cond} (W)(\delta) = \dot{q}(W)(\delta)(x)$$

عند وسط المسافة بين انبوبين لا يحصل انتقال للحرارة حيث:

$$q(x=0) = 0$$

$$q(x=L) = \dot{q}(W)(\delta)(L) = 700000(1)(0.001)(0.1) = 70(W)$$

انتقال الحرارة الكلية الى الانبوب يجب ان يكون ضعف تلك الكمية:

عندما نصف قطر الانبوب يساوي 2 سم والماء الداخل اليه درجة حرارته 20 درجة مئوية:

$$q_{tube} = hA_s(T-T_\infty)$$

$$A_s = \pi RW$$

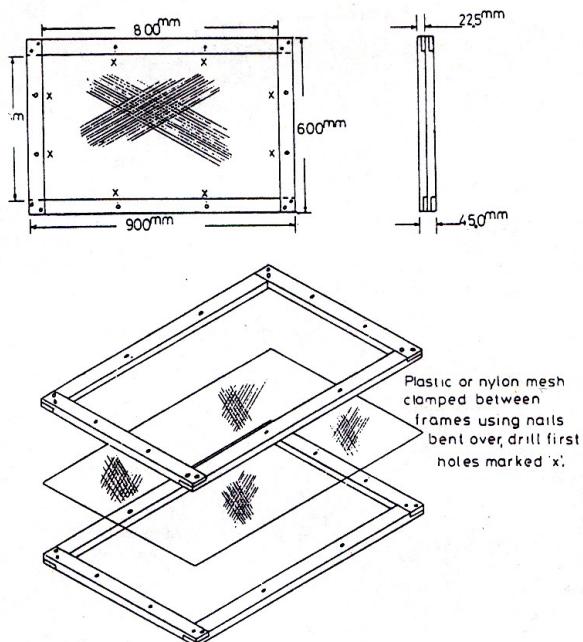
$$h = 140 / [(\pi RW)(T - T_\infty)] \\ = 111.5 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

الفصل الثالث

التجفيف بالطاقة الشمسية Solar Drying

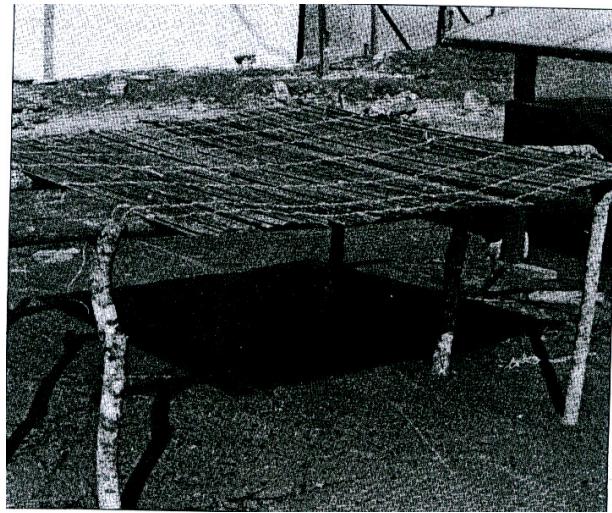
التجفيف الشمسي الطبيعي Natural Sun Drying

تعد عملية التجفيف الشمسي الطبيعي من اقدم طرائق الحفظ التي عرفها الإنسان واستعملها سكان البلاد العربية لتجفيف الفواكه ويحتاج التجفيف الشمسي الطبيعي الى مناطق تتوفر فيها درجات الحرارة العالية والرطوبة الواطئة وخالية من الامطار خلال مدة التجفيف، وأحد البلدان المعروفة في هذا الميدان هو العراق حيث تجف بهذه الطريقة انواع مختلفة من الفواكه والخضر . تتم هذه الطريقة بفرش الغذاء على صواني او قماش او على سطوح شكل (3-1) وتبقى معرضة للشمس مع التقليل لحين الجفاف . او قد تعرض للشمس لمدة يوم او يومين ثم توضع على شكل اكdas في الظل لتجف . عندما يتم التجفيف في الظل فان الاغذية يتحسن لونها ويكون زاهي مقارنة مع التجفيف تحت اشعة الشمس المباشرة.



شكل (3-1): سطوح التجفيف.

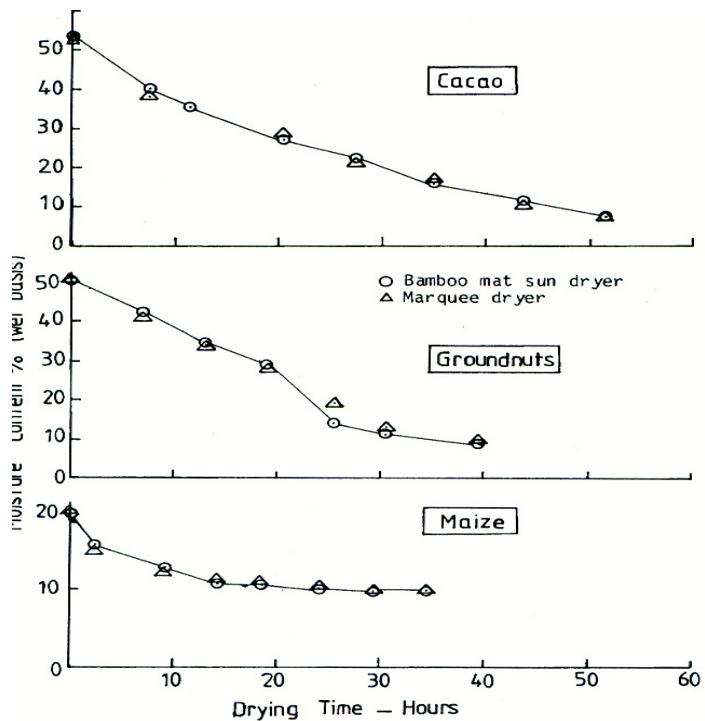
وهنالك انواع اخرى من سطوح التجفيف مثل تلك المصنوعة من الخيزران شكل (2-3) او من السمنت او من صفيحة مضلعة من الالمنيوم وتكون مرتفعة عن الارض ويسمى ايضا بالمجفف الشمسي التقليدي *Traditional Sun Drying* وفيه يتعرض الغذاء الى الاشعاع الشمسي المباشر كما ان الظروف البيئية تتحكم بعملية التجفيف، ويوضح جدول (1-3) كفاءة المجففات الشمسية التقليدية المختلفة عند درجات حرارة تتراوح بين $23 - 35^{\circ}\text{C}$ ورطوبة نسبية من 50 - 100 % ومعدل طاقة اشعاع شمسي من $3.5 - 4.1 \text{ كيلو واط}/\text{م}^2$ يوم وعدد ساعات الشروق للشمس 3 - 6 ساعة/يوم ان طرائق التجفيف لها نفس الكفاءة تقريبا . لاتعد الكفاءة كعامل محدد لاختيار نوع سطح التجفيف وانما من خلاله يمكن معرفة البديل اعتمادا على التكاليف ومدى توفر المواد في الاسواق . وحتى لو ان سطوح التجفيف غطيت بغطاء بلاستيكي فانها سوف لا تؤدي الى زيادة معدلات التجفيف بالرغم من ان درجات الحرارة فيها اعلى من درجات الحرارة في الجو ، الا ان الرطوبة النسبية تكون فيها عالية وخصوصا في المراحل المبكرة من التجفيف. كما يوضح شكل (3) انخفاض الرطوبة مع الزمن عند استخدام التجفيف الطبيعي.



شكل (3-2): سطح التجفيف المصنوع من الخيزران. Minka, 2000.

جدول (1-3): الكفاءة لانواع مختلفة من اسطح التجفيف.

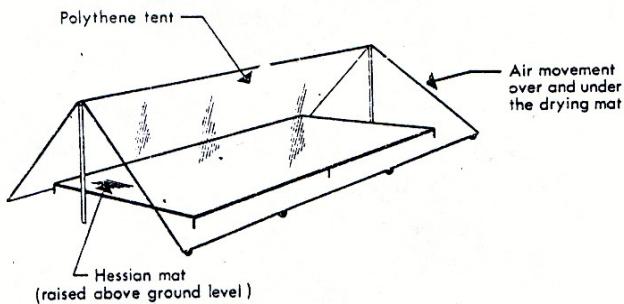
الكافأة %		انواع اسطح التجفيف
باستعمال رفوف	بدون رفوف	
14.50	15.00	الخيزران
15.00	14.00	السمن
14.00	13.50	صفيحة المنيومية مضلعة



شكل (3-3): تغير الرطوبة مع الزمن لاغذية مختلفة.

نظراً لعرض المواد المجففة بالشمس إلى التغيرات والظروف الجوية المختلفة والتلوث بالأحياء المجهرية والغبار والحشرات مما يؤدي إلى خفض قيمتها الغذائية وتحتاج هذه العملية إلى مساحة كبيرة و زمن طويل نسبياً للتجفيف ، هذا الامر ادى إلى عدم استغلالها اقتصادياً وعلى نطاق واسع. بالإضافة إلى ذلك فإن الأمطار ممكن ان تفشل عملية التجفيف بالكامل وتتعدد السيطرة عليها.

هناك طريقة أخرى للتجفيف الشمسي الطبيعي وهي استخدام هيكل يشبه الخيمة ومغطى بالبولي إثيلين الشفاف من الأعلى ومفتوح من الأسفل والجانبين الآخرين. كما في شكل (3-4).



شكل (3-4): مجفف طبيعي ذو هيكل يشبه الخيمة مفتوح من الجوانب.

المجففات الشمسية Solar Dryers

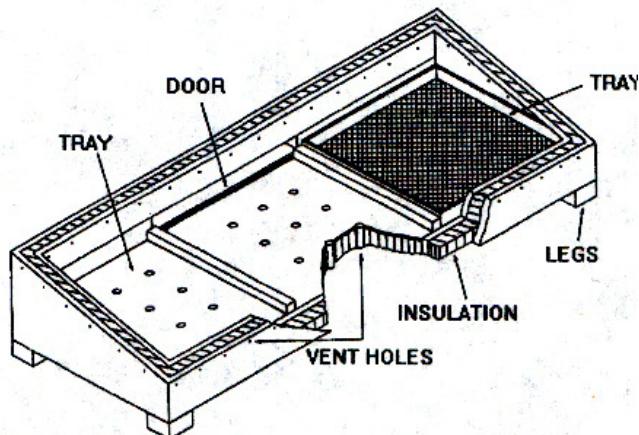
إن التجفيف بالطاقة الشمسية هو عبارة عن تقنية الاستفادة من طاقة الإشعاع الشمسي وذلك بتحويلها إلى طاقة حرارية باستخدام مجمع شمسي Solar Collector وتكون المجففات الشمسية على نوعين هما :

1- مجففات شمسية ذات حمل طبيعي Natural convection solar dryers

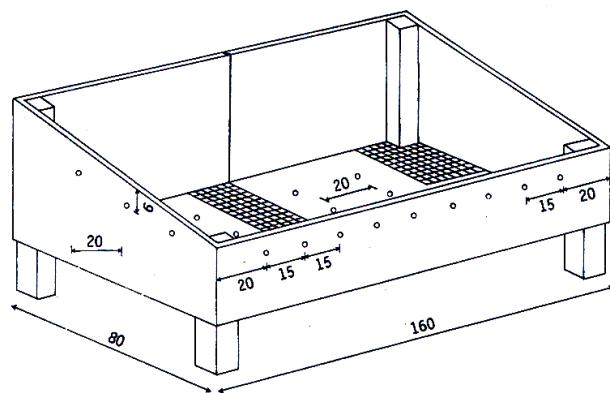
وهذه المجففات تكون على نوعين هما :

أ-المجففات الشمسية المباشرة Direct Solar Dryers:

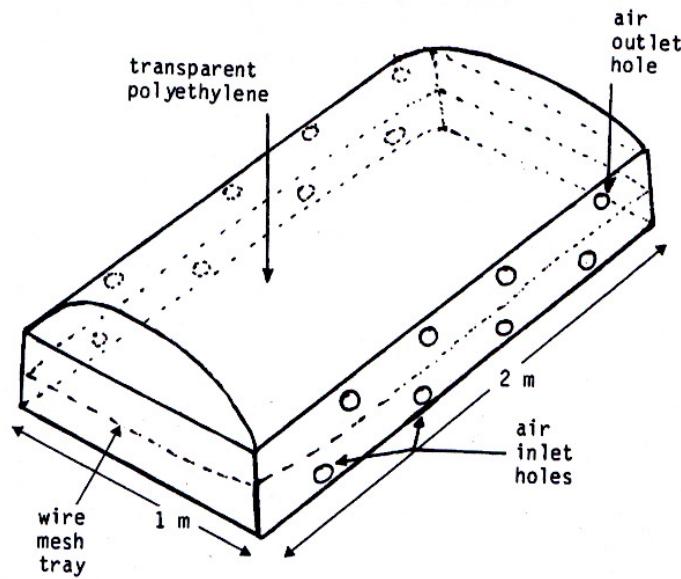
فيها يكون المجمع الشمسي وغرفة التجفيف واحدة وتحتاج إلى تعرض المواد الغذائية إلى الإشعاع الشمسي مباشرة وهذا النوع من المجففات هو عبارة عن صندوق خشبي معزول من القاعدة والجوانب ومغلق من الأعلى بلوح زجاجي يميل بزاوية معينة بحسب الموقع الجغرافي للمنطقة ، يتم عمل فتحات في القاعدة لتسهيل الهواء البارد بالدخول إلى المجفف وكذلك فتحات تحت اللوح الزجاجي لخروج بخار الماء كما هو موضح في الأشكال (5-3) و (6-3) و (3-7).



شكل (3-5): مكونات المجفف الشمسي المباشر.

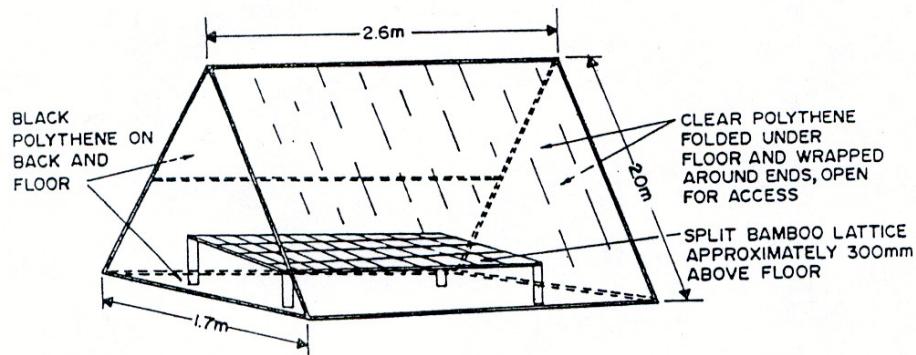


شكل (3-6): أبعاد المجفف الشمسي المباشر.



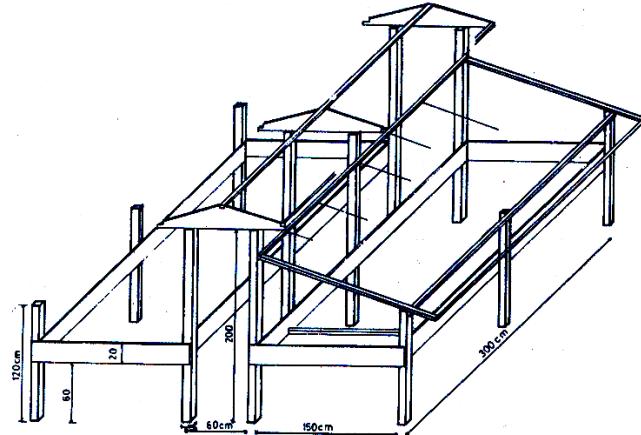
شكل (3-7): مجفف شمسي مباشر ذو غطاء شفاف مقوس.

هناك نوع اخر من المجففات الشمسية هو مجفف الخيمة الشمسية *Solar Tent Dryer* يتكون من هيكل خشبي يشبه الخيمة مغطى بالبولي اثيلين الشفاف ويحتوي بداخله على مصطبة توضع عليها الاغذية المراد تجفيفها وفيها يتعرض الغذاء إلى أشعة الشمس المباشرة كما في شكل (3-8).



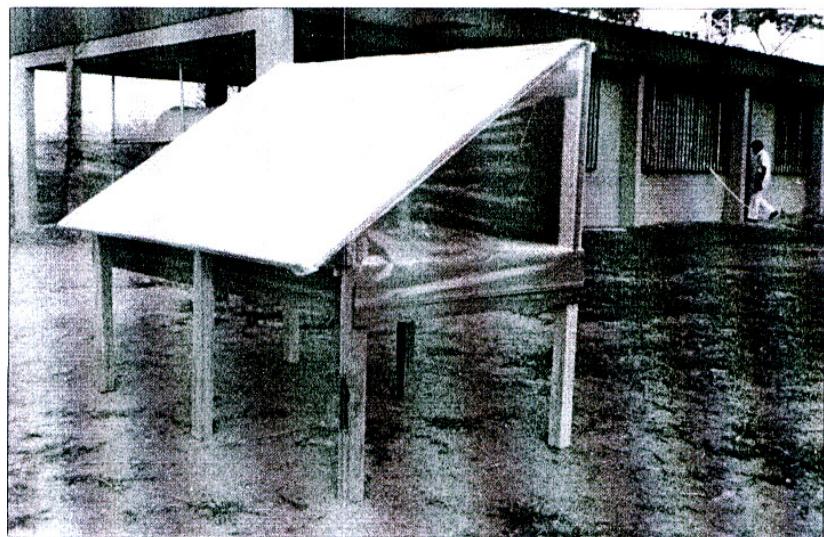
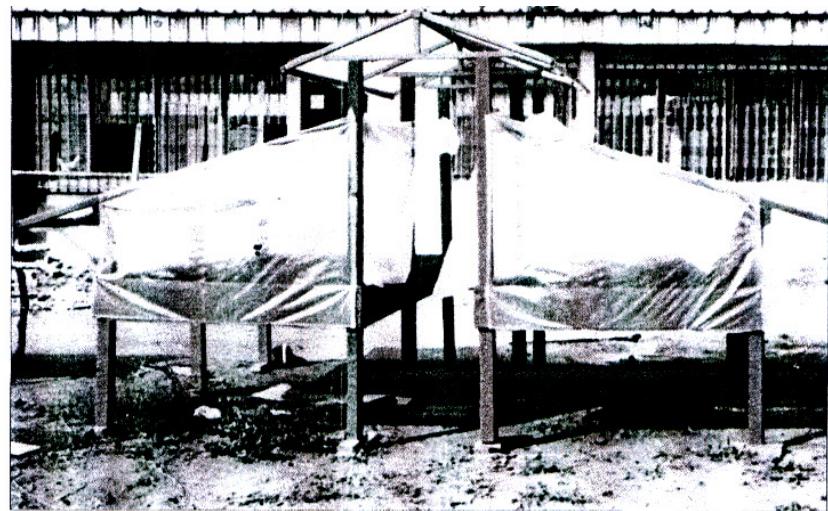
شكل (3-8): مجفف الخيمة المباشر.

هناك نوع اخر من مجففات الخبمة *marquee Dryers* يتكون من هيكل مغطى بقطاء شفاف بحيث ان الاشعاع الشمسي يصل الى الغذاء وبنفس الوقت يحمي الغذاء من الامطار والغبار شكل (3-9) و (3-10) هذا الهيكل مجزأ إلى جزئين وكل واحد منها تتم فيه عملية تجفيف الاغذية وهم متوازيان ومرتفعان عن الأرض ويغطيهما من المركز غطاء شفاف اخر ومرتفع عنهم ، سطوح التجفيف مصنوعة من أسلاك منسوجة مع بعضها تشبه المنخل أو من الخيزران أو صفيحة من الألمنيوم المضلع ، ويمر الهواء أسفل واعلي الرفوف.

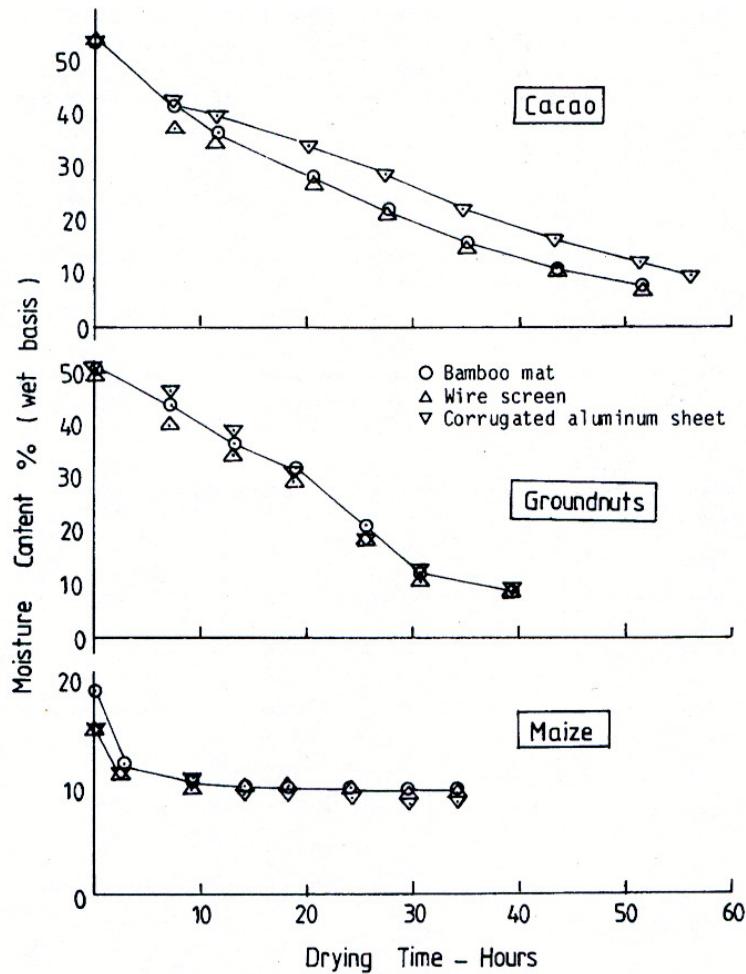


شكل (9-3): نوع اخر من مجفف الخبمة.

ان الاختلافات بمعدلات التجفيف للكاكاو وحب العزيز *Groundnuts* والذرة المجففة بمجفف الخبمة عند استعمال سطوح تجفيف مختلفة وهي الخيزران والقماش السلكي والصفيحة الالمنيومية المضلعة كانت معنوية ، من الواضح ان صفيحة الالمنيوم لا تسمح ببذل الماء من الكاكاو مقارنة مع لخيزران والقماش السلكي ويكون التجفيف عندها اقل كما ان الخيزران لا يختلف معنويًا عن القماش السلكي في عملية التجفيف. شكل (3-11).

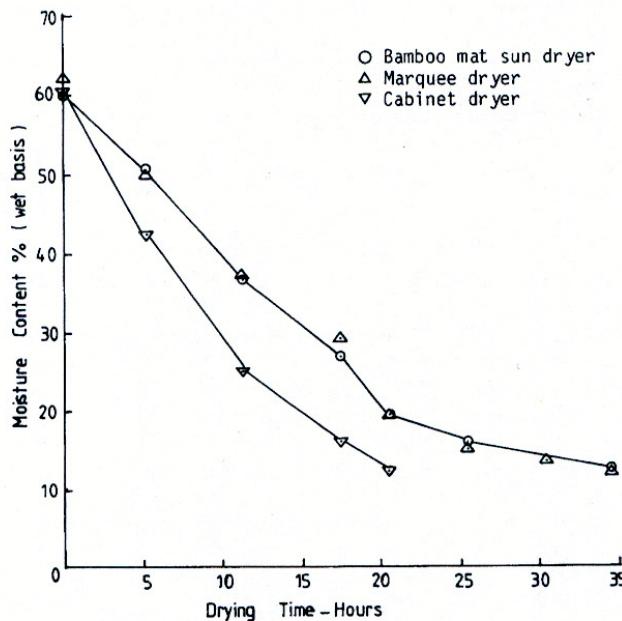


شكل (3-10) : صورتان فوتوغرافيتان لمجفف الخيمة . (Minka,2000)



شكل (3-11) : استعمال أسطح تجفيف مختلفة لأغذية مختلفة.

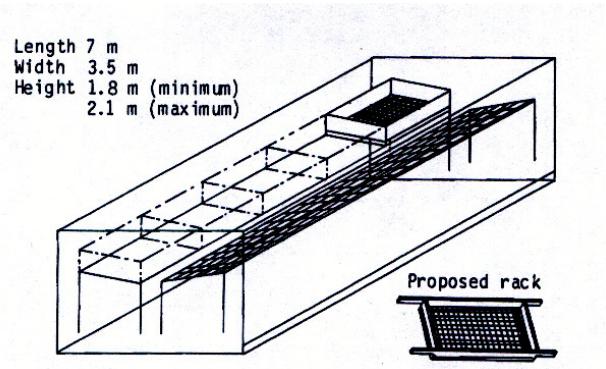
عند مقارنة اداء المجفف الشمسي الصندوقي *Cabinet Solar Dryer* مع مجفف الخيمية والمجفف الشمسي الخيزان وجد ان معدل تجفيف موز الجنة *Plantain* كان اعلى في حالة استعمال المجفف الشمسي الصندوقي من الطریقين الآخرين شكل (3-12) ، ووصلت درجة الحرارة في المجفف الصندوقي الشمسي الى $30 - 20^{\circ}\text{C}$ فوق درجة حرارة الجو، ولهذا فان هذا المجفف مفيد في تجفيف الأغذية المختلفة



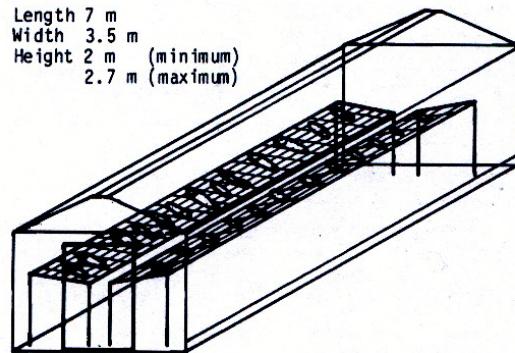
شكل (12-3): انخفاض الرطوبة مع الزمن عند استخدام طائق تجفيف مختلف.

تستخدم مجففات شمسية مباشرة كبيرة لتجفيف الأسماك وهي على ثلاثة أنواع هي Dryer Do و House Type و Brace Type . إن مجفف القبة وفيه تعلق الأسماك لكي تجفف . وطريقة عمل هذه المجففات هي أن الأشعة الشمسية تخترق البولي إثيلين الشفاف وتسقط على السمك ويقوم الأخير بامتصاص هذه الأشعة .

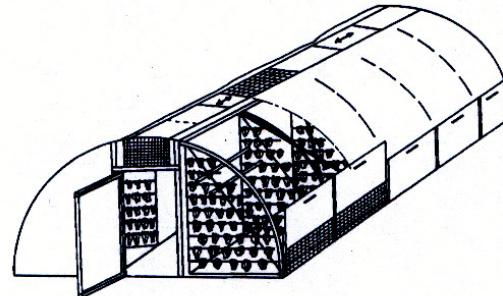
إن المجفف نوع القبة يصنع من المعدن وأما البقية فتصنع من الخشب ، الشعاع الشمسي يمر خلال البولي إثيلين بطول موجي 180 مايكرومتر إلى الغرفة التي بداخلها البولي إثيلين الأسود ويبعث أشعة حرارية بطول موجي 300 – 350 مايكرومتر . الحرارة تبقى داخل غرفة التجفيف وتنقل إلى الهواء الذي بداخلها بواسطة التوصيل بالإشعاع ولكنه ينتقل بصورة رئيسية بواسطة الحمل ، الهواء سوف يتمدد داخل غرفة التجفيف ويصبح محمل بالرطوبة من الأسماك ويخرج إلى الخارج . فتحة التهوية يجب أن تغلق في الليل لكي لا تحصل حالة إعادة الترطيب في المنتج .



Drying racks in the Brace-type solar dryer.



8. Solar house dryer.

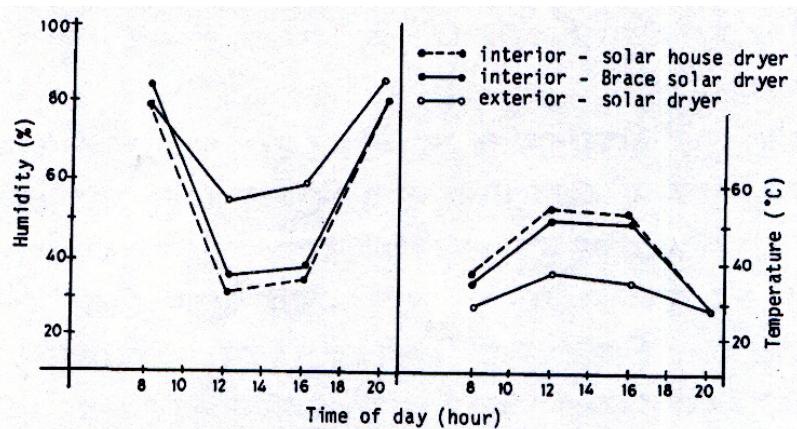


شكل (3-13): انواع مختلفة من مجففات الاسماك الشمسية

المباشرة. (Diop, 1987)

يلاحظ من الشكل (3-14) إن درجة الحرارة في المجففات المختلفة متغيرة مع ساعات النهار وبلغت أقصى قيمة لها 53°C وأقل قيمة لها 28°C خلال شهري

شباط وايار ، بينما الرطوبة النسبية داخل المجففات فقد كانت متغيرة بين 84 و 33% عندما درجة حرارة الجو تراوحت بين 37 و 28°C و رطوبة نسبية للجو تراوحت بين 48 و 55% عند شدة اشعاع شمسي 15 ميكا جول/m². ان هواء التجفيف في المجففات كانت سرعته حوالي 25% من سرعته في الجو كما هو واضح في الجدول (3-2).

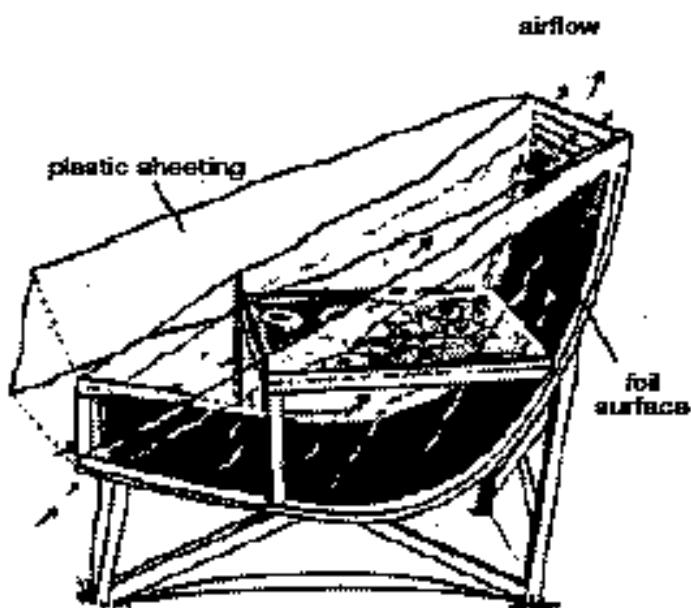


شكل (3-14): درجة الحرارة والرطوبة في المجففات الشمسية.

جدول (3-2): سرعة الرياح في الجو والمجفف الشمسي خلال ساعات النهار.

ساعات النهار	سرعة الرياح في الجو (م/ثا)	سرعة الرياح في المجفف (م/ثا)	الهواء الداخلي	الهواء الخارجي
800	3.90	3.05	0.90	
1200	3.20	2.88	0.80	
1600	4.54	3.90	1.20	
1800	3.80	2.87	0.86	

وهنالك نوع اخر وهو عبارة عن قناة منحنية مبطنة بطبقة رقيقة من معدن لامع Foil Surface ، ويحتوي بداخله على رف يوضع عليه الغذاء والمجفف مغطى بغطاء بلاستيكي شفاف وكما في شكل (3-15).



شكل (3-15) : مجفف شمسي مباشر ذو قناة منحنية.

المجف الشمسي الشبه مختلط تركيبه وطريقة عمله :

يتكون هذا المجف كما في شكل (3-16) من هيكل خشبي طوله 76 سم وعرضه 20.5 سم وارتفاعه 10 سم وسمكه 2.5 سم يحتوي على مادة عازلة من الصوف سماكتها 2.5 سم ثم حوض مصنوع من الحديد المطاوع سمك 0.1 سم طوله 70.5 سم وعمقه 4.8 سم استناداً إلى نتيجة المعادلة (1) لونه أسود وغير لامع في حافته العلوية حشوة مانعة لتسرب الهواء يوضع في هذا الحوض التمر المراد تجفيفه . وطاقته الاستيعابية 6 كغم من التمر .

توجد اسلاك امتصاص معدنية سوداء على بعد 5 سم من قاع الحوض تعمل على امتصاص طاقة الإشعاع الشمسي وتسخين الهواء الملائم لها وتظليل الغذاء الموجود في الحوض من أشعة الشمس ثم وضع غطاء زجاجي سمك 0.6 سم على بعد 7.5 سم من اسلاك الامتصاص ثم وضع غطاء بلاستيكي شفاف على بعد 5 سم من الغطاء الزجاجي وهذا لغرض تقليل الفقدان الحراري الطولي من المجف حيث تكون هناك فجوة هوائية معزولة بينهما . يوجد هناك نابض يلتقي حول المجف ويقوم بكبس الغطائين البلاستيكي والزجاجي على الحوض بصورة محكمة .

وضع المجف على هيكل حديدي مزود بثلاث مفاصل بحيث يمكن تغيير زاوية ميله حسب خطوط العرض للمنطقة التي يستعمل بها .

زود هذا المجف بمجمع شمسي انبوبي لسحب الهواء من الجو وتسخينه وهو مكون من أنبوب من الحديد المغلف ذو لون أسود غير لامع طوله 40 سم محاط بالخشب الصاج سمك 2.5 سم من ثلاثة جوانب ومن المقدمة والمؤخرة وغطائين زجاجيين سمك الواحدة منها 0.3 سم فوق الانبوب ومزود بغطاء بلاستيكي لغرض منع دخول الهواء إلى المجف أثناء الليل وكذلك الحشرات ويحتوي هذا المجف على مدخنة تعمل على سحب الهواء المحمel بالرطوبة من المجف الشمسي إلى الخارج طولها 1 م وقطرها 1.25 سم

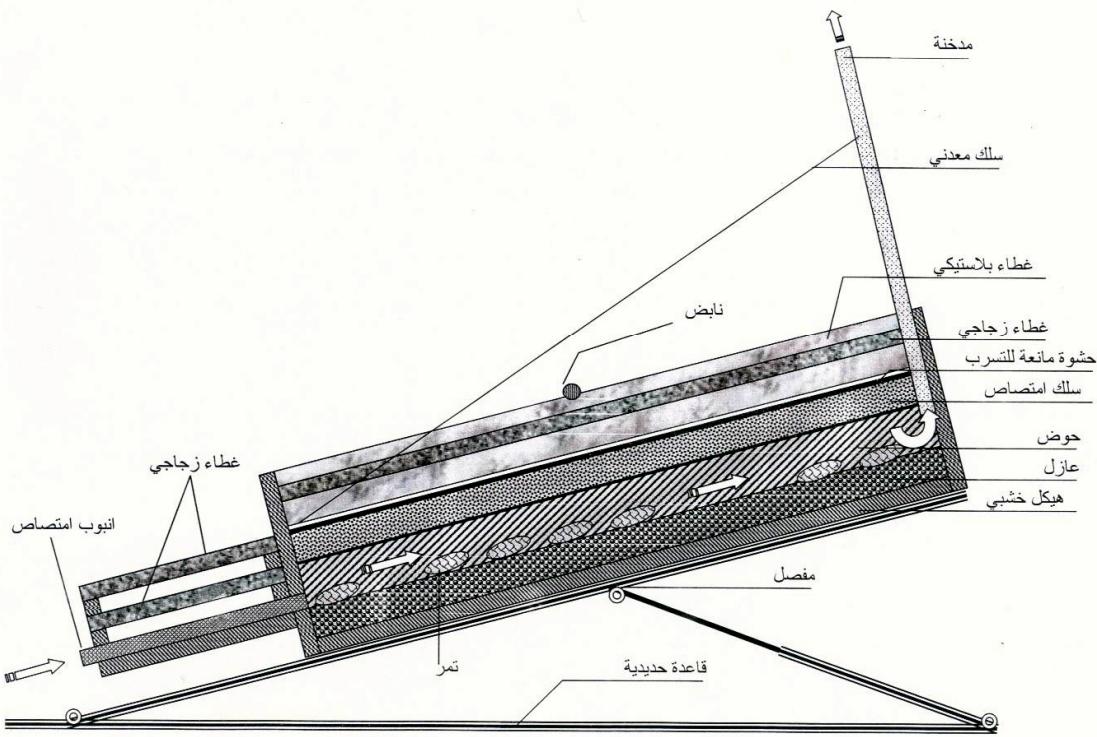
عندما يراد تجفيف التمر فأنه يوضع في الحوض ويعاد كبس الغطاء البلاستيكي والزجاجي بواسطة النابض وبشكل محكم بحيث يمنع تسرب الهواء من والى المجفف ثم يوضع المجفف بزاوية 20 درجة صيفاً أو 40 درجة شتاءً ويوجه باتجاه الجنوب .

عندما يسقط الاشعاع الشمسي على الغطاء البلاستيكي فإن جزء كبير منه سينفذ على الغطاء الزجاجي ثم ينفذ وتمتصه اسلاك الامتصاص المعدنية وقسم منه يمتصه الحوض فيؤدي الى تسخين الحوض والتمر معا وبالوقت نفسه فإن المجمع الشمسي الانبوي الموجود في المقدمة سوف يسخن الهواء بفعل طاقة الاشعاع الشمسي الساقطة عليها مما تؤدي الى تسخين الهواء الموجود في الانبوب وتقل كثافته ويزداد حجمه ويتحرك بسرعة الى داخل المجفف وتزداد حركة الهواء الداخل مع زيادة طاقة الاشعاع الشمسي .



شكل (3-16): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي الشبه مختلط.

مختار. (الحلفي ، 2007)



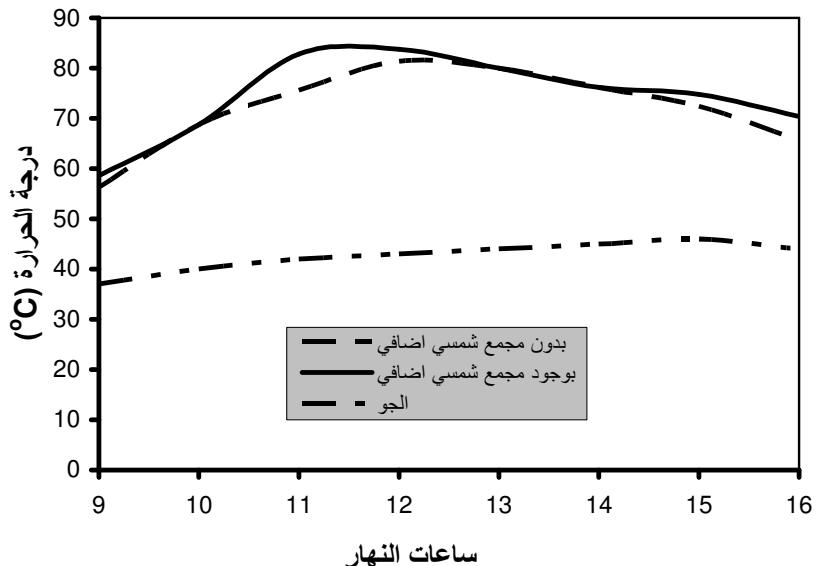
شكل (3-17): مقطع رأسي للمجف الشمسي الشبه مختلط.

اداء المجف الشمسي

يوضح الشكل (3-18) ان درجة الحرارة في المجف الشمسي المزود بمجمع انبوبي وبدونه ازدادت مع زيادة ساعات النهار ووصلت الى اقصى قيمة لها عند منتصف النهار وبلغت 83°C و 81°C على التوالي ، وهذا بسبب تغير طاقة الاشعاع الشمسي الساقطة على المجف الشمسي مع ساعات النهار ، اذ تؤدي الى رفع درجة الحرارة في المجف الشمسي بسبب زيادة الطاقة الممتصة والطاقة المنتزعة مع زيادة ساعات النهار .

كما نلاحظ من الشكل نفسه ان درجة الحرارة في المجف الشمسي المضاف اليه مجمع انبوبي صغير كانت اعلى منها عند عدم إضافته ، وهذا يعود الى ان الاخير يؤدي الى تسخين اولي للهواء المار من خلاله الى المجف الشمسي مما يؤدي الى

رفع درجة حرارته . ان المجمع الانبوي الصغير ي العمل على التسريع في رفع درجة حرارة الهواء الداخل الى المجفف الشمسي خلال ساعات النهار الاولى (9 و 10 و 11) اذ كانت درجات الحرارة بدون وجود المجمع الانبوي خلال تلك الساعات هي (56 ، 68 ، 75 ° م) و (58.6 ، 69 ، 82.8 ° م) على التوالي .



شكل (18-3) معدل درجة الحرارة في المجفف الشمسي وفي الجو لشهر ايلول 2006.

حساب رطوبة التمر مع الزمن :

في هذه الحالة لابد من حساب قيمة ثابت التجفيف نظريا وكالاتي:

$$x_{t+1} = x_e + (x_t - x_e) \exp(-k\Delta t) \dots \dots \dots (3-1)$$

x_{t+1} : المحتوى الرطوي للتمر عند مرور زمن معين (kg_{H2O}/kg_{solid})

x_e : المحتوى الرطوي المتوازن (kg_{H2O}/kg_{solid})

x_t : المحتوى الرطوي للتمر عند فقد كم معين من الرطوبة (kg_{H2O}/kg_{solid})

يلاحظ من الشكل (19-5) ان رطوبة التمر تنخفض مع زيادة زمن التجفيف في حالة استعمال المجفف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي والقيم المحسوبة الا انه

كان مقدار الانخفاض في القيم المحسوبة أعلى منه عند استعمال المجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي .

، وهذا يعود إلى أن القيم المحسوبة تعتمد على معادلات نظرية تفترض عدم وجود معوقات في التمر أثناء التجفيف مثل وجود طبقة تمنع تبخر الماء بسهولة من التمر ووجود السكريات والأملاح وهذه العوامل تعمل على اعاقة تبخر الماء من التمر أثناء عملية التجفيف

كما نلاحظ من النتائج أن مقدار الانخفاض بالرطوبة عند استعمال المجف الشمسي كان أعلى بكثير منه عند استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي ، وهذا يعود إلى تعرض التمر المجف بالتجفيف الشمسي الطبيعي إلى التغيرات في الظروف البيئية مثل انخفاض درجة حرارة الجو وزيادة الرطوبة النسبية للهواء وهذا يؤدي إلى إعادة امتصاص الرطوبة من الجو وخصوصاً أثناء مدة الليل والمحسوبة من خلال المعادلة الآتية:

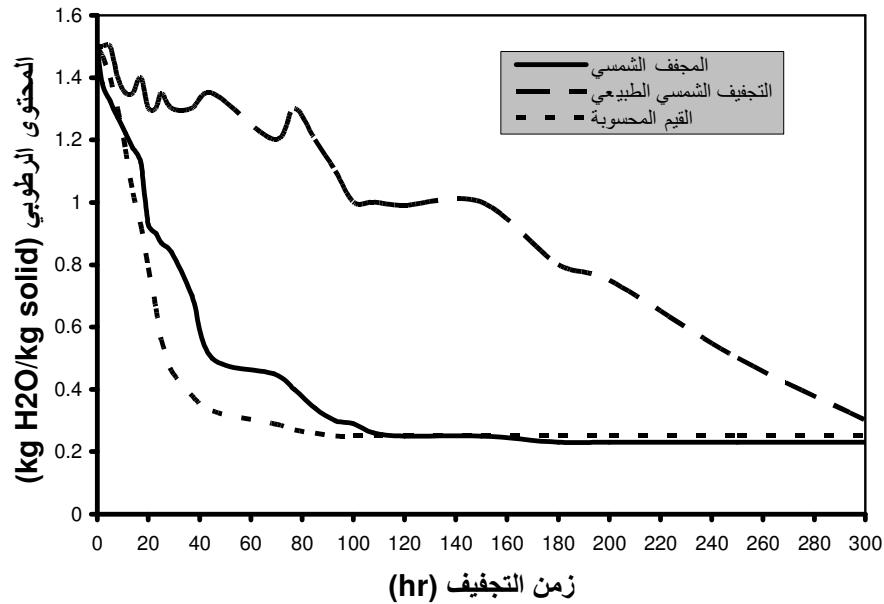
$$R_a = [(x_{sr} - x_{ss}) / x_{ss}] \times 100 \dots \dots \dots (3-2)$$

حيث:

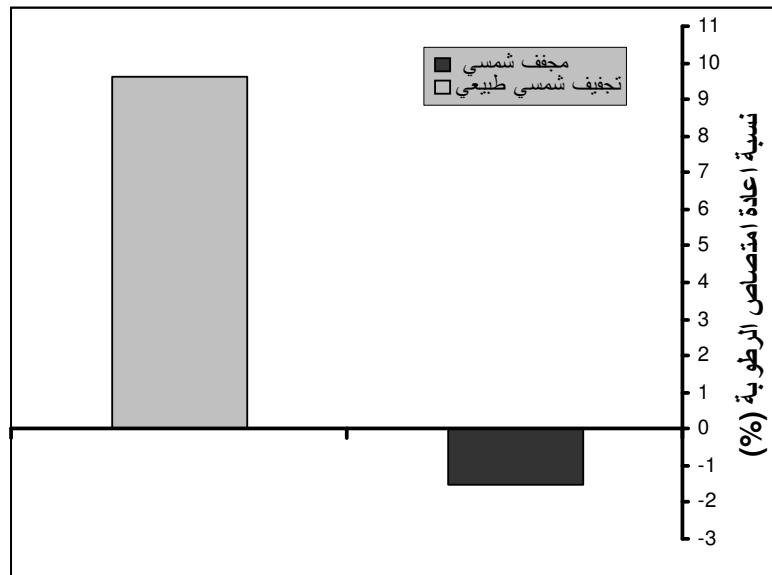
x_{sr} : نسبة الرطوبة في التمر عند شروق الشمس (%)

x_{ss} : نسبة الرطوبة في التمر عند غروب الشمس (%)

فقد أوضحت النتائج المبينة في شكل (3-20) أن استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي أدى إلى زيادة معدل نسبة إعادة امتصاص الرطوبة من الجو بشكل كبير إذ بلغت 9.6 % ، بينما عند استعمال المجف الشمسي فإن قيمة معدل معامل امتصاص الرطوبة كانت سالبة وبلغت - 1.5 % وهذا يشير إلى أنه يحصل بذلك فقد في رطوبة التمر بسبب أن المجف الشمسي يحافظ على التمر من التعرض للظروف البيئية وخصوصاً خلال مدة الليل وتبقى فيه طاقة حرارية مخزونة تؤدي إلى تبخر كمية من الرطوبة .



شكل (3-19) المحتوى الرطوبى . المقاس في المجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي.



شكل (3-20) نسبة اعادة امتصاص الرطوبة في التمر اثناء تجفيفه بالمجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي.

يلاحظ من الشكل (3-21) ان كفاءة التجفيف اليومية المحسوبة والمقدمة في التمر اثناء تجفيفه بالمجفف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي من المعادلة الآتية:

$$\eta_{da} = \frac{(x_t - x_f)w\lambda/(x_1+1)}{I_{Ta}A_C t_a} \times 100 \dots \dots \dots (3-4)$$

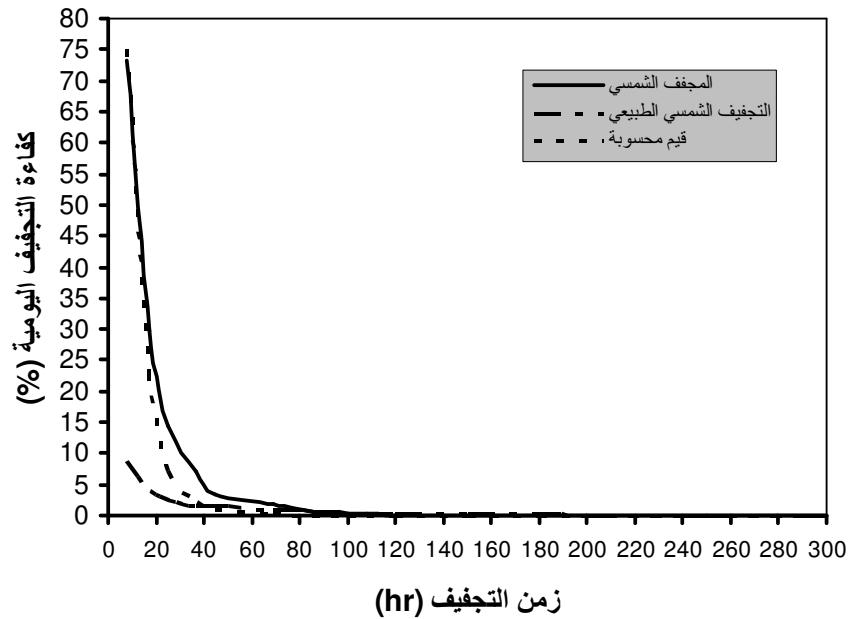
η_{da} : كفاءة التجفيف اليومية (%) .

I_{Ta} : طاقة الاشعاع الشمسي المقاسة (واط/م²)

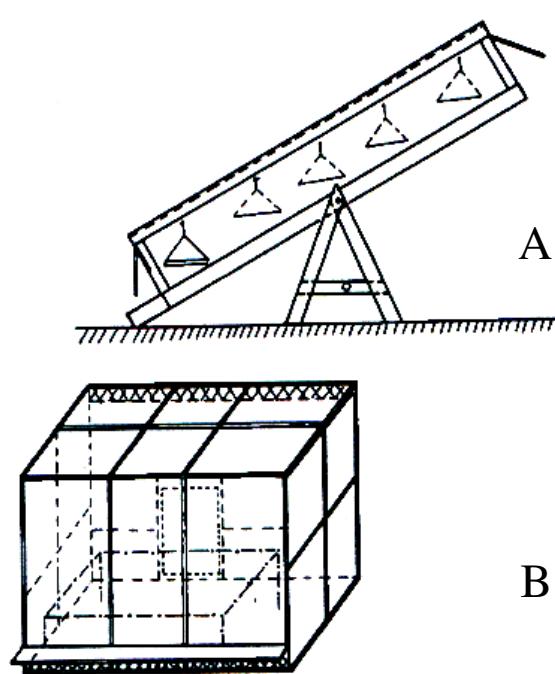
t_a : زمن التجفيف المقاس .(ثانية)

قد انخفضت مع زيادة زمن التجفيف ، ويكون الانخفاض على اشده عند الساعات من 0-30 ساعة في حالة استعمال المجفف الشمسي والقيم المحسوبة .
وذلك لانه في الساعات الاولى من التجفيف تحدث عملية التبخر الثابت ويتاخر الماء الحر الموجود قرب السطح بسرعة ، اما بعد هذه المرحلة فتبدأ مرحلة التبخر المتنازل ويكون الماء مرتبط وينتقل عن طريق الخاصية الشعرية الى السطح ويواجه مقاومة كبيرة وهذا يتطلب زمن اكبر ولهذا تتحفظ كفاءة التجفيف اليومية.

هناك تصاميم أخرى للمجففات الشمسية المباشرة مثل مجفف تؤست – *Toast* – *Type Dryer* Greenhouse – *Type Dryer* ومجفف البيت الزجاجي *Type Dryer* كما في شكل (3-22)



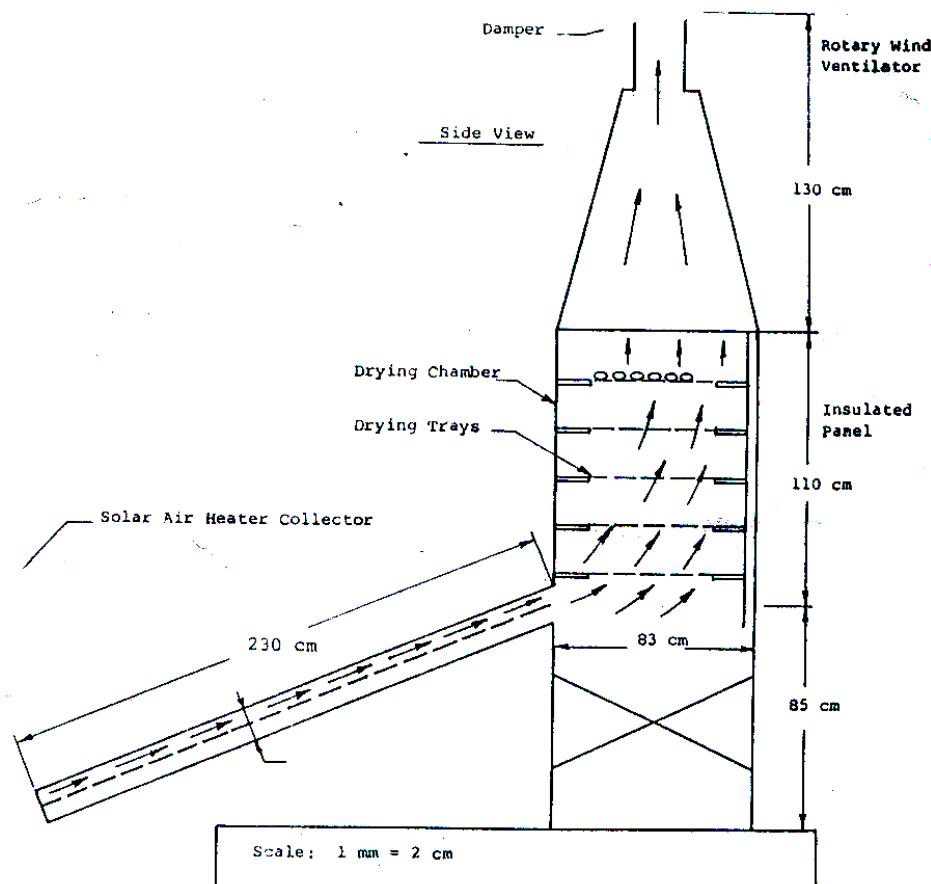
شكل (3-21): كفاءة التجفيف اليومية المحسوبة والمقاسة. في التمر اثناء تجفيفه
بالمجف الشمسي



شكل (3-22): مجففات شمسية مباشرة ، a: مجفف توست ، b: مجفف البيت الزجاجي.

المجففات الشمسية غير المباشرة Indirect Solar Dryers

وفي هذا النوع يكون المجمع الشمسي منفصل عن غرفة التجفيف التي تنتقل إليها الحرارة من دون تعرض المواد الغذائية إلى الإشعاع الشمسي. شكل (3-23) إن المجمع الشمسي هو أداة تجهيز الطاقة الحرارية ، إذ أنه نوع خاص من المبادلات الحرارية يقوم بتحويل طاقة الإشعة الشمسية الساقطة إلى طاقة حرارية تنتقل بوساطة مائع التشغيل (الهواء) ثم ينتقل بصورة طبيعية إلى غرفة التجفيف المحتوية على عدة رفوف مشبكة موضوعة عليها المادة الغذائية فيمر عليها الهواء الساخن ، وتحتوي غرفة التجفيف على فتحة خلفية تسمح بخروج بخار الماء الناتج .



شكل (3-23): مجفف شمسي غير مباشر ذو حمل طبيعي.

هناك مجفف شمسي مباشر اخر يعمل بالحمل الطبيعي يتكون من جزئين اساسيين هما المجمع الشمسي الذي مساحته 2.4 m^2 ذي صفيحة امتصاص مضلعة بزاوية 55 درجة مزود بفتحة لدخول الهواء البارد وفتحتين من اعلى جانبيه لخروج الهواء الساخن الى غرفة التجفيف التي تتكون من الهيكل الحديدي (33)

شكل (3-24) وهو مصنوع من حديد الزاوية من النوع المثقب وارتفاعه 1.96 م وعرضه 0.551 م وطوله 1 م يحتوي على حاجز عرضية عددها اثنان مثبتة على محيطه الخارجي وقاعدة علوية يوضع عليها المجفف واخرى سفلية تستخد لتنبيت الهيكل على الارض .

الانابيب البلاستيكية

استخدم انبوب بلاستيكيان (10) حيث كل انبوب قطره 0.11 م وطوله 1.581 م وسمكه 0.005 م ومن النوع المرن لغرض نقل الهواء الحار من المجمع الشمسي الى غرفة التجفيف . استخدم عازل من مادة الاسبستوس بسمك 0.02 م لعزل الانابيب عن المحيط الخارجي .

ثبتت هذه الانابيب من احد نهاياتها على جانبي مجرى خروج الهواء من المجمع الشمسي عن طريق تحويلة بلاستيكية مبطنة بطبقة معدنية رقيقة ومعزولة من الخارج بالاسبستوس بحيث يمكنه ان يدور بزاوية المرغوبة .

اما النهايات الاخرى فقد ثبتت على جانبي اسفل غرفة التجفيف بوساطة تحويلة بلاستيكية مبطنة بطبقة معدنية رقيقة ومعزولة من الخارج بالاسبستوس .

جدران غرفة التجفيف

صنعت جدران غرفة التجفيف من هيكل خشبي غافت من الداخل بصفائح خشبية (41) سمك 0.004 م ثم بعدها وضع العازل (40) من مادة الرغوة بسمك 0.025 م وغافت من الخارج بصفائح خشبية (42) سماكتها 0.01 م وطولها 1 م وعرضها 0.55 م من الجوانب وهي مثبتة الشكل من الاعلى . اما من الخلف فقد غافت بوساطة صفائح خشبية سماكتها 0.004 م وطولها 1 م وعرضها 1 م

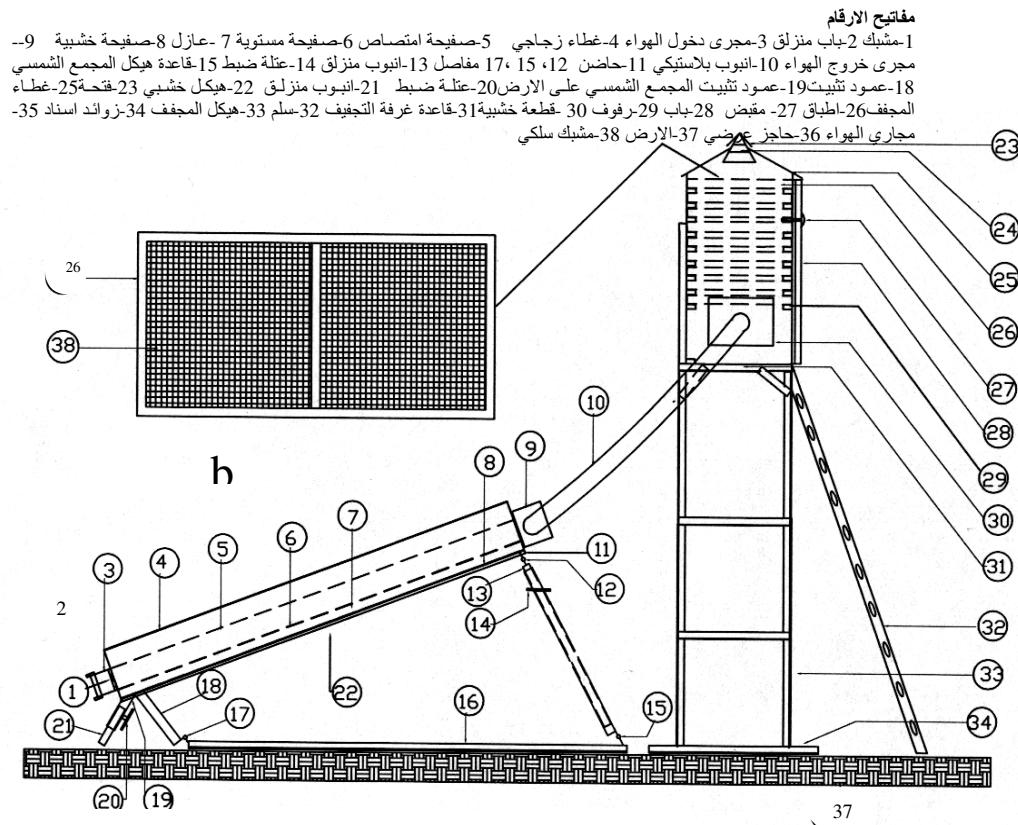
اما باب غرفة التجفيف (28) فقد صنع من هيكل خشبي مغلف من الداخل بصفائح خشبية سماكة 0.004 م ثم بعدها وضع العازل من مادة الرغوة ثم غافت من

الخارج بوساطة صفيحة من معدن الالمنيوم سماكة 0.002 م وابعاد هذا الباب هي م . 1*1

صنعت قاعدة غرفة التجفيف (31) من هيكل خشبي ومغلف من الداخل بصفائح خشبية سماكة 0.004 م ثم وضع فيها عازل من مادة الرغوة وبعد ذلك غلفت من الخارج بوساطة صفائح خشبية سماكها 0.004 م . اما الجزء العلوي من غرفة التجفيف فهو بشكل مثلث ابعاده 0.313*1*0.025 م ، ومزود من الاعلى بفتحة تهوية (24) طولها 1 م وعرضها 0.025 م ذات غطاء خشبي متزلق (43) يستخدم لغرض غلق غرفة التجفيف اثناء الليل كما في شكل (4-24) و (4-25) ، هذا الجزء مكون أيضا من هيكل خشبي مغلف من الداخل بصفائح خشبية سماكها 0.004 م ووضع بعدها عازل من مادة الرغوة بسمك 0.025 م وغلفت من الخارج بصفائح من الالمنيوم (39) يحتوي الجزء العلوي على غطاء (23) طول كل جانب منه 0.099 م لغرض حماية غرفة التجفيف من الامطار والاتربة .

Beds المشبكة

ان الوظيفة الاساسية لهذه الاطباق (26) هي وضع المادة الغذائية فيها وبما انها مشبكة فسيمر عليها الهواء الحار من جميع الجهات . احتوت غرفة التجفيف على تسعه اطباق مشبكة وضعت بعضها فوق البعض الاخر مستندة على رفوف جانبية (29) تبرز الى الداخل بمسافة قدرها 0.05 م بحيث تمكן الاطباق من التحرك الى الخارج او الداخل من خلال انزالها عليها . ابعاد كل طبق هي م 0.5 * 0.9 * وثبتت عليها من الاسفل مشبك مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ stainless steel ، وفيه حاجز خشبي من المنتصف .



شكل (3-24): منظر جانبي للمجفف الشمسي.

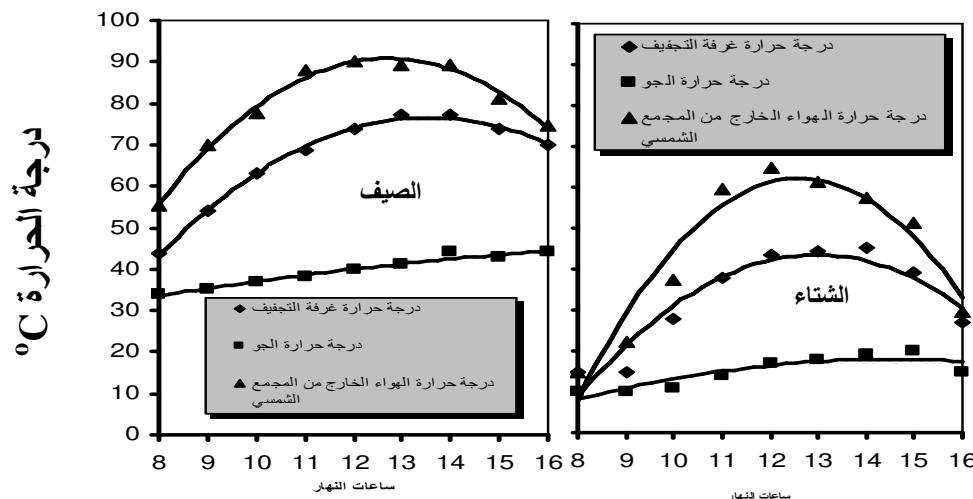


شكل (3-25): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي الغير المباشر ذو

الحمل الطبيعي. (الحلفي ، 2006)

اداء المجفف الشمسي غير المباشر

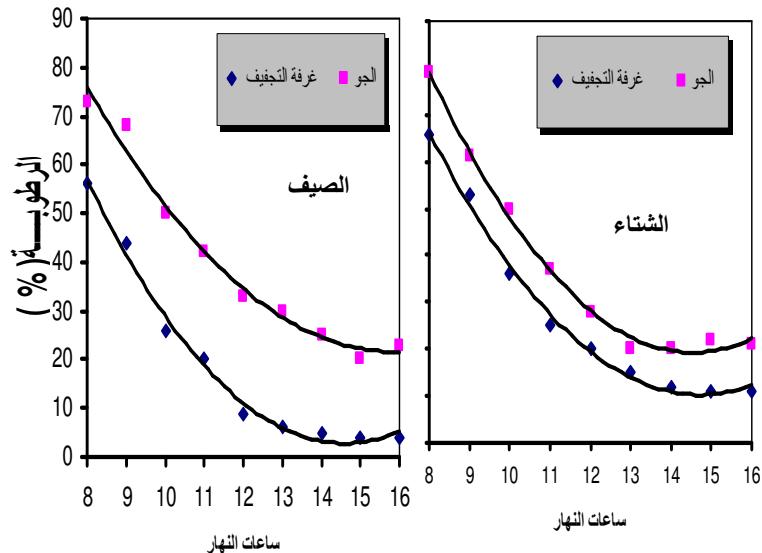
ان درجة الحرارة في غرفة التجفيف قد ازدادت مع زيادة ساعات النهار ووصلت الى أقصى قيمة لها عند الساعة الثانية بعد الظهر ثم بعد ذلك انخفضت حتى وصلت الى اقل قيمة لها عند الساعة الرابعة عصراً ولفصلي الشتاء والصيف من عام(2004). ويعزى هذا إلى استمرار انتقال الحرارة الى غرفة التجفيف المعزولة عن المحيط الخارجي وارتفاع درجة الحرارة بداخلها عند الساعة الثانية والثالثة بعد الظهر نتيجة لبقاء صفيحة الامتصاص ساخنة عند هاتين الساعتين اذ تزداد درجة حرارة غرفة التجفيف بسبب حدوث حالة التجميغ الحراري فيها شكل (3-26).



شكل(3-26): معدل درجة الحرارة في غرفة التجفيف والجو وللهواء
الخارج من المجمع الشمسي خلال فصلي الشتاء والصيف لعام
2004.

اما الرطوبة النسبية في غرفة التجفيف فقد لوحظ في الشكل (3-27) الذي يبين الرطوبة النسبية في غرفة التجفيف والجو خلال ساعات النهار ولفصلين الشتاء والصيف من عام 2004 ان الرطوبة النسبية في غرفة التجفيف والجو انخفضت مع زيادة ساعات النهار. الا انها في الجو ازدادت عند الساعة الرابعة عصرا . وهذا يعود الى ارتفاع درجة الحرارة في غرفة التجفيف والجو مع زيادة ساعات النهار مما ادى الى انخفاض الرطوبة النسبية . كما يعود السبب في زيادة الرطوبة النسبية عند الساعة الرابعة عصرا في الجو الى انخفاض درجة حرارة الجو وانخفاض طاقة الإشعاع الشمسي بشكل كبير .

كما نلاحظ من الشكل ان مقدار الرطوبة النسبية في غرفة التجفيف هي اقل بكثير منها في الجو وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة في غرفة التجفيف وزيادة حركة الهواء فيها مما ادى إلى خروج بخار الماء من الفتحة العلوية لغرفة التجفيف . ونلاحظ من الأشكال ايضا ان الاختلافات بين الرطوبة النسبية في الجو وفي غرفة التجفيف ازدادت مع زيادة ساعات النهار



شكل(3-27): معدل الرطوبة النسبية في الجو وفي غرفة التجفيف خلال فصلي الشتاء والصيف لعام 2004

الطاقة الحرارية المفقودة:

حساب الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي :

تحت عملية فقدان الحرارة من جميع جوانب المجف الشمسي واكبر فقدان حراري يحدث من صفيحة الامتصاص وباتجاه الاعلى وتحسب كمية الطاقة المفقودة من المعادلة الآتية :

$$Q_L = U_L A_c (T_P - T_a) \dots \quad (3-5)$$

حیث:

Q_L : كمية الطاقة المفقودة من المجمع الشمسي (واط)

U : معامل انتقال الحرارة الكلى (واط/م² °C)

$$A_c : \text{مساحة المجمع الشمسي (م}^2)$$

درجة حرارة صفيحة الامتصاص (m^0) T_p

T_a : درجة حرارة الجو (م°)

ويحسب معامل انتقال الحرارة الكلي من المعادلة الآتية :

$$q_{L-t} = \left[h_{p-t} (T_p - T_g) + \frac{\sigma (T_p^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} \right] A \dots \dots \dots (3-7)$$

حیث:

U_t : معامل انتقال الحرارة من السطح العلوي (واط/م² م⁰)

U_e : معامل انتقال الحرارة من الجوانب (واط/ $\text{م}^2 \text{ ك}$)

U_b : معامل انتقال الحرارة من الاسفل (واط/ $m^2\cdot K$)

يحدث فقدان الحرارة الى الجو من صفيحة الامتصاص بسبب ارتفاع درجة حرارتها بطريقتي الحمل والاشعة . ولحساب كمية الحرارة المنتقلة من صفيحة الامتصاص عند درجة حرارة T_p الى الغطاء الزجاجي عند درجة حرارة T_g :

h_{p-t} : معامل انتقال الحرارة بالحمل بين صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي
 $(\text{واط}/\text{م}^2 \text{ م}^\circ)$

σ : ثابت Stefan-Boltzmann وقيمه $10^8 * 5.6697 \text{ (واط}/\text{م}^2 \text{ كلفن}^4)$

ϵ_p : انبعاثية طلاء صفيحة الامتصاص

ϵ_g : انبعاثية الغطاء الزجاجي

يحسب h_{p-g} من المعادلة الآتية :

$$h_{p-g} = \frac{N_u k}{L} \dots \dots \dots (3-8)$$

$Nusslt$: رقم N_u

k : الموصليّة الحرارية للهواء ($\text{واط}/\text{م}^\circ \text{ م}$)

L : سمك الحيز الهوائي (م)

يحسب رقم نسلت من المعادلة الآتية :

$$N_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{R_a \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{(\sin 1.8\beta)^{1.6} 1708}{R_a \cos \beta} + \left(\frac{R_a \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \dots (3-9)$$

ويحسب رقم $Raliegh$ من المعادلة الآتية :

$$R_a = \frac{g \beta' \Delta T L^3}{\vartheta_a \alpha_a} \dots \dots \dots (3-10)$$

حيث ان معامل التمدد الحجمي هو :

$$\beta' = \frac{1}{T_{ag}} \dots \dots \dots (3-11)$$

حيث:

g : التعجيل الارضي ($\text{م}/\text{s}^2$)

β' : معامل التمدد الحجمي للهواء بضغط ثابت ($1/\text{كفن}$)

ϑ_a : الزوجة الكائيناتيكية ($\text{م}^2/\text{s}$)

α_a : معامل الانشارية الحرارية ($\text{م}^2/\text{s}$)

ΔT : الفرق بين درجتي حرارة صفيحة الامتصاص والغطاء الزجاجي ($^\circ\text{م}$)

T_{a_g} : درجة حرارة الطبقة الهوائية (كفن)

يحسب مقدار فقدان الحرارة من السطح الخارجي للغطاء الزجاجي الى الجو

بالحمل والاشعة من المعادلة الآتية :

$$q_{L-g} = (h_{r,g-a} + h_w)(T_g - T_a)A_c \dots \dots \dots (3-12)$$

$h_{r,g-a}$: معامل انتقال الحرارة بالاشعة من السطح الخارجي للغطاء الشفاف عند

درجة حرارة T_g الى الجو عند درجة حرارة T_{sky} ويعطى من المعادلة الآتية :

$$h_{r,g-a} = \epsilon_g \sigma (T_g^2 - T_{sky}^2) (T_g + T_{sky}) A_c \dots \dots \dots (3-13)$$

تحسب درجة حرارة السماء T_{sky} من العلاقة الآتية:

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \dots \dots \dots (3-14)$$

h_w : معامل انتقال الحرارة بسبب الريح ($\text{واط}/\text{م}^\circ\text{م}$) ويحسب من المعادلة الآتية :

$$h_w = 5.7 + 3.8v \dots \dots \dots (3-15)$$

v : سرعة الريح ($\text{م}/\text{s}$)

يحسب $h_{r,p-g}$ من المعادلة الآتية:

$$h_{r,p-g} = \frac{(T_p - T_g)(T_p^2 + T_g^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_g}\right) - 1} \dots \dots \dots (3-16)$$

لذلك فإن معامل انتقال الحرارة من السطح العلوي يعطى من المعادلة الآتية:

$$U_t = \left[\frac{1}{h_{p-g} + h_{r,p-g}} + \frac{1}{h_w + h_{r,g-a}} \right]^{-1} \dots \dots \dots (3-17)$$

تتسرب الحرارة من اسفل المجمع الشمسي حيث يحسب مقدارها بـأستخدام معامل انتقال الحرارة من السطح السفلي بموجب المعادلة الآتية:

$$U_b = 1 / \left[\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_b}{k_{ib}} + \frac{1}{h_w} \right] \dots \dots \dots \quad (3-18)$$

سمك الاطار الخشبي (م)

سمك طبقة العازل السفلية (م)

k_1 : الموصليّة الحراريّة للاطار الخشبي (واط/م °)

k_{ib} : الموصلية الحرارية للطبقة العازلة (واط/م °)

يحدث فقدان الحرارة من جوانب المجمع الشمسي بواسطة عمليتي الحمل والأشعة بالفقدان الحراري الجانبي ، ويحسب بأفتراض سريان الحرارة وبعد واحد ويمكن تمثيله بالمعادلة الآتية:

$$q_{L-e} = H_c P_c \frac{k_{i,e}}{x_{i,e}} (T_p - T_a) \dots \dots \dots \quad (3-19)$$

H_c : الارتفاع الخارجي للمجمع (م)

(م) المجمع محيط : P_c

$k_{i,e}$: الموصلية الحرارية لطبقة العازل الجانبية (واط/م °م)

$x_{i,e}$: سمك طبقة العازل الجانبية (م)

يحسب معامل فقدان الحراري من الجوانب من المعادلة الآتية:

$$U_e = \frac{(UA)_e}{A} \dots \dots \dots \quad (3-20)$$

A : مساحة صفيحة الامتصاص (m^2)

$(UA)_e$: حاصل ضرب معامل انتقال الحرارة من السطح الجانبي في مساحة

جوانب المجمع وبالتعويض في معادلة 16 ينتج:

$$U_e = \frac{(k_{i.e} / x_{i.e}) H_c P_c}{A} \dots \dots \dots (3-21)$$

حساب الطاقة الحرارية المفقودة من الانابيب البلاستيكية:

من معادلة Fourier يمكن حساب الطاقة الحرارية المفقودة وكالاتي:

عند الشروط الحدية

تستخدم هذه المعادلة في حساب الطاقة الحرارية المفقودة من الانبوب وكالاتي:

$$Q_1 = \frac{2\pi k L (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \dots \quad (3-23)$$

$$Q_2 = \frac{2\pi k L (T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \dots \quad (3-24)$$

$$Q_i = h_i 2\pi r_1 L (T_i - T_e) \dots \dots \dots \quad (3-25)$$

$$Q_i = Q_\varrho = Q_1 = Q_2 = Q_p$$

بعد جمع المعادلات اعلاه ينتج:

$$Q_p = 2(T_i - T_o) / \left[\frac{1}{h_i 2\pi r_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_B L} + \frac{1}{h_o 2\pi r_3 L} \right] \dots \quad (3-26)$$

حساب الطاقة الحرارية المفقودة من غرفة التجفيف:

تحسب من قانون فورير لكل مادة وكمياتي:

$$Q_A = k_A A \frac{(T_1 - T_2)}{X} \dots \dots \dots \quad (3-27)$$

$$Q_B = k_B A \frac{(T_2 - T_3)}{X_B} \dots \dots \dots \quad (3-28)$$

$$Q_C = k_C A \frac{(T_3 - T_4)}{X_C} \dots \dots \dots \quad (3-29)$$

$$Q_i = h_i A (T_i - T_1) \dots \dots \dots \quad (3-30)$$

$$Q_A = Q_B = Q_C = Q_i = Q_o = Q_l$$

بعد جمع المعادلات اعلاه ينتج:

$$Q_1 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i A} + \frac{x_A}{k_A A} + \frac{x_B}{k_B A} + \frac{x_C}{k_C A} + \frac{1}{h_o A}} \dots \dots \dots \quad (3-32)$$

$$Q_2 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i A_1} + \frac{x_A}{k_A A_2} + \frac{x_B}{k_B A_2} + \frac{x_C}{k_C A_2} + \frac{1}{h_o A_2}} \dots \quad (3-32)$$

$$Q_3 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_1} + \frac{x_B}{k_B A_1} + \frac{x_C}{k_C A_1} + \frac{1}{h_o A_1}} \dots \quad (3-33)$$

$$Q_4 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_2} + \frac{x_B}{k_B A_2} + \frac{x_C}{k_C A_2} + \frac{1}{h_o A_2}} \dots \dots \dots \quad (3-34)$$

$$Q_5 = \frac{2(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_A}{k_A A_3} + \frac{x_B}{k_B A_3} + \frac{x_C}{k_C A_3} + \frac{1}{h_o A_3}} \dots \quad (3-35)$$

إذاً الطاقة الحرارية الكلية المفقودة من المجف الشمسي هي:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_p + Q_l \dots \dots \dots \quad (3-36)$$

حوث:

Q_1 : الطاقة الحرارية المفقودة من جدارين متماشيين

Q_2 : الطاقة الحرارية المفقودة من الجانب الخلفي

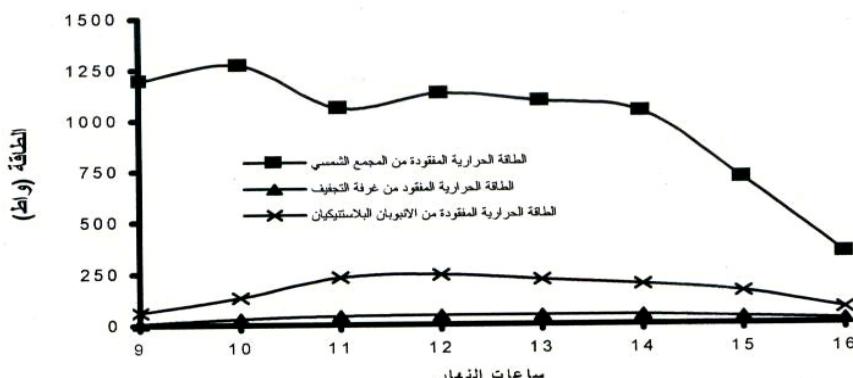
Q_3 : الطاقة الحرارية المفقودة من الباب

Q_4 : الطاقة الحرارية المفقودة من الاسفل

Q_5 : الطاقة الحرارية المفقودة من الاعلى وانه ذو جانبين

يلاحظ من الشكلين (28-3) و (29-3) ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي هي اكبر من تلك المفقودة في الانبوبان البلاستيكيان والاخيران اكبر من تلك المفقودة في غرفة التجفيف في فصلي الصيف والشتاء . كما نلاحظ ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجمع الشمسي تكون اعلى عند الساعتين التاسعة والعشرة صباحا في فصلي الصيف والشتاء وهذا بسبب زيادة الفرق في درجة حرارة الجو والمجمع الشمسي مما يؤدي الى زيادة معامل فقدان الحراري الكلي بشكل كبير . بينما لم تحدث هذه الحالة في الانبوبان البلاستيكيان وغرفة التجفيف بسبب وجود المادة العازلة (الرغوة) وهي ذات عزل حراري كفوء.

يلاحظ من الشكل (30-3) ان الطاقة الحرارية المفقودة من المجفف الشمسي في فصل الصيف هي اعلى من تلك المفقودة في فصل الشتاء ماعدا ساعات النهار الاولى وهي الساعتين التاسعة والعشرة صباحا. وهذا يعود الى ان زيادة معامل فقدان الحراري الكلي في فصل الصيف بسبب ارتفاع درجات حرارة صفيحة الامتصاص فتكون هنالك طاقة حرارية فائضة تفقد عن طريق السطح العلوي من المجمع الشمسي الى الجو وخصوصا عند ساعات الحمل الاقصى وهي من الساعة العاشرة صباحا ولغاية الساعة الثانية بعد الظهر .



الكفاءة الحرارية الكلية:

تحسب من خلال معرفة الطاقة المنتزعة ، التي تحسب من المعادلة الآتية:

وقسمتها على طاقة الاشعاع الشمسي I مضروبا في حاصل قسمة درجة حرارة الهواء الداخل إلى غرفة التجفيف T_{in} على درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسي T_o وكالاتي:

$$\eta_T = \frac{q}{I} \times \frac{T_{in}}{T_o} \dots \dots \dots (3-38)$$

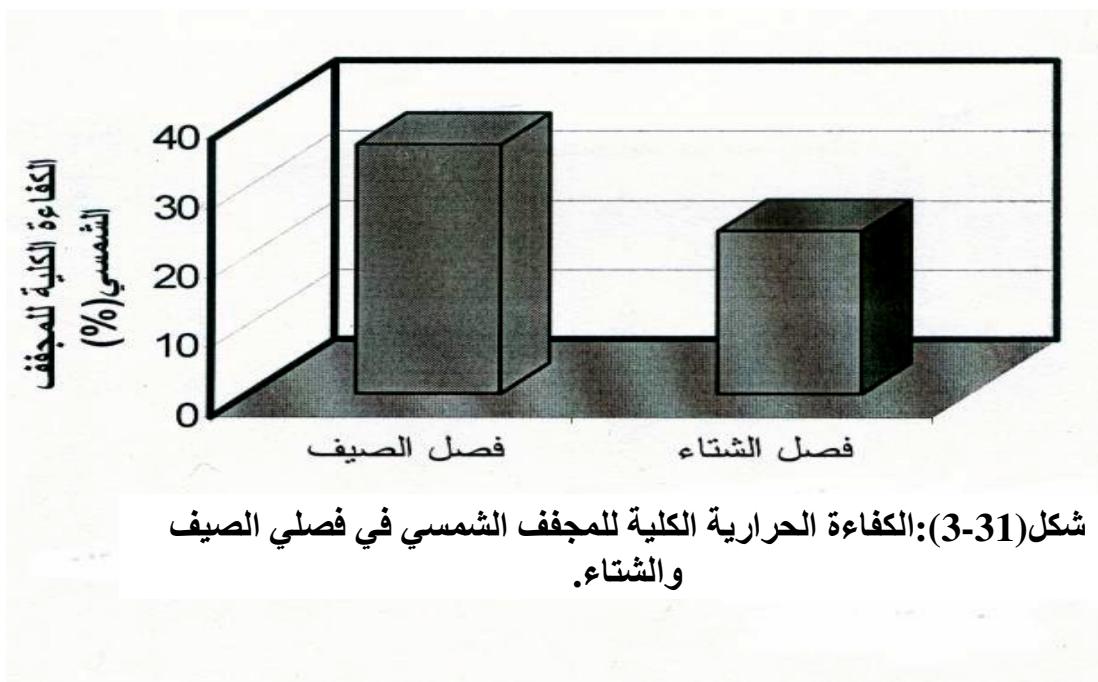
حيث:

m : التدفق الكتلي للهواء ($\text{كغم}/\text{م}^2 \cdot \text{ث}$)

c_p : الحرارة النوعية للهواء ($\text{كج}/(\text{كغم} \cdot \text{م}^{\circ})$)

T_i : درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجمع الشمسي (م°)

يلاحظ من الشكل (31-3) ان الكفاءة الحرارية الكلية للمجفف الشمسي في فصل الصيف اعلى منها في فصل الشتاء وهذا بسبب ارتفاع درجة حرارة صفيحة الامتصاص خلال ساعات الحمل الاقصى مما يؤدي الى زيادة درجة حرارة الهواء فتردد حركته الديناميكية وهذا بدوره يزيد من الطاقة المنتزعة وبالتالي زيادة كل من كفاءة المجمع الشمسي وكفاءة غرفة التجفيف والذي بدوره سينعكس ايجابا على الكفاءة الحرارية الكلية مؤديا الى زيتها ، اذ ان مقدار الزيادة بالطاقة المنتزعة سيكون اكبر بكثير من الزيادة بمعامل فقدان الحراري الكلي.



ثابت ومعدل التجفيف:

يحسب من المعادلة الآتية :

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = A \exp(-kt) \dots \dots \dots (3-39)$$

حيث:

MR : نسبة الرطوبة

M : المحتوى الرطوي على اساس الوزن الجاف (غم ماء/غم مادة جافة)

M_e : المحتوى الرطوي المتوازن (غم ماء/غم مادة جافة)

M_0 : المحتوى الرطوي الاولى (غم ماء/غم مادة جافة)

A : ثابت

k : ثابت التجفيف (ساعة⁻¹)

t : زمن التجفيف (ساعة)

بعد رسم العلاقة بين المحتوى الرطوي والزمن وكان معامل الارتباط يتراوح بين 0.79 و 0.95 ومنها تستخرج قيمة k .

يحسب معدل التجفيف من المعادلة الآتية:

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \dots \dots \dots (3-40)$$

حيث:

$\frac{dM}{dt}$: معدل التجفيف (غم ماء/غم.مادة جافة. ساعة)

يلاحظ من الشكل (3-32) ان هناك مرحلتين للتجفيف هما التجفيف بمعدل ثابت اذ ان معدل التجفيف لا يتغير مادام هناك ماء حر بالقرب من سطح الغذاء ويبقى معدل التجفيف ثابت الى ان يصل الى المحتوى الرطوي الحر الذي بعده ينخفض معدل التجفيف وتسمى هذه المرحلة بمعدل التجفيف المتناقص وان عملية خروج الرطوبة تكون اصعب مما في الحالة الاولى كون الماء يكون مرتبط.

كما اظهرت النتائج ان لطريقة التجفيف تأثير على المحتوى الرطوي الحرج ، ففي حالة التجفيف الشمسي الطبيعي نلاحظ ان المحتوى الرطوي الحرج يحصل عند ازالة محتويات رطوبية اقل مما في حالة استعمال المجفف الشمسي والمجفف الكهربائي ، كما ان الاخير يحصل فيه عند ازالة محتويات رطوبية اعلى من المجفف الشمسي ، وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة الذي يؤدي الى تبخر كم كبير من الرطوبة الموجودة في الغذاء ويتبخر جميع الماء الحر بسرعة، وهذا ما يحدث في المجفف الكهربائي ويليه المجفف الشمسي.

يلاحظ من الشكل (3-3) ان الزمن اللازم لمعدل التجفيف الثابت هو اقل من الزمن اللازم لمعدل التجفيف المتناقص لانه في حالة الاخير يجب التغلب على القوى الرابطة للماء داخل الخلية وانه يجب ان يصعد الى السطح عن طريق الخاصية الشعرية وهذه العملية تحتاج الى زمن كبير فمثلاً الزمن اللازم لمعدل التجفيف الثابت للمشمش المجفف بالمجفف الشمسي هو 3 ساعة بينما يتطلب 33 ساعة لمعدل التجفيف المتناقص . كما نلاحظ من الشكل نفسه ان زيادة زمن التجفيف ادت الى انخفاض في معدل التجفيف للأغذية المجففة بطريق تجفيف مختلفة جميعها وكان الانخفاض بمعدل التجفيف بطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي اقل مما في حالة المجفف الشمسي والاخير اقل من المجفف الكهربائي.

يلاحظ من جدول (1-3) ان ثابت التجفيف للأغذية المجففة بالمجفف الشمسي اعلى من التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي وذلك لأن التجفيف الشمسي الطبيعي يتطلب زماناً اكبر بكثير من طريقي التجفيف الآخرين ، بينما في حالة المجفف الكهربائي فإن سبب انخفاض ثابت التجفيف له هو نتيجة بقاء الرطوبة ممحونة داخل الغذاء بسبب الانكماس والتصلب السطحي ولذلك يطول زمن التجفيف بشكل نسبي مقارنة مع المجفف الشمسي الا ان الاختلافات بينهما طفيفة وكذلك اختلاف الظروف من ضغط ودرجة حرارة ورطوبة اذ ان المجفف الكهربائي يمكن التحكم بظروفه بسهولة بينما يصعب ذلك في المجفف الشمسي اذ ان درجة الحرارة والرطوبة متغيرة مع الزمن.

معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع:

تم حسابهما من المعادلتين الآتيتين:

$$R_H = \frac{(c - w_s)}{c} \times 100 \dots \dots \dots (3-42)$$

معامل استرجاع الماء: R_f

c: وزن النموذج بعد الاسترجاع (غم)

m: نسبة الرطوبة في النموذج قبل التجفيف (%)

w_d : وزن النموذج المجف (غم)

m_r : نسبة الرطوبة في النموذج المجف (%)

w_s : وزن المادة الجافة في النموذج (غم)

R_H : نسبة الرطوبة بعد الاسترجاع (%)

الدول (3-3) الى ان معامل استرخ

يشير الجدول (3-3) الى ان معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع هي اعلى عند استعمال المجفف الشمسي في تجفيف الاغذية منه عند استعمال المجفف الكهربائي والتجفيف الشمسي الطبيعي وللاغذية جميعها وهذا قد يؤدي الى تجانس عملية التجفيف في الاغذية المجففة بالمجفف الشمسي بشكل اكبر من الطريقتين الاخريتين مما جعل التجفيف ينتقل الى داخل الغذاء وتخرج الرطوبة منه اضافة الى ذلك يكون الانكماش قليل مما يجعل المسامية اعلى في الغذاء المجفف فيه وهذا يؤدي الى سهولة استرجاع المنتوج بعد اضافة الماء اليه كما انه يمتص اكبر كمية من الماء مقارنة مع الطريقتين الاخريتين اضافة الى ذلك فأن المجفف الكهربائي يسبب التصلب السطحي وهذا يجعل الغذاء يمتص كمية اقل من الماء مما يؤدي الى انخفاض معامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع ،

النشاط المائي:

نلاحظ من الشكل (3-34) ان النشاط المائي للاغذيه المجففة بالتجفيف الشمسي الطبيعي اعلى من المجف الكهربائي والآخر اعلى من المجف

الشمسي وهذا يعود الى انه في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فأن الغذاء معرض للتغيرات في الظروف الجوية كتغير الرطوبة ودرجة الحرارة اذ انه عندما ترتفع رطوبة الجو فأن الغذاء يمتص رطوبة منه وهذا دائماً يحدث اثناء الليل . اما في حالة المجفف الكهربائي فيسبب حصول حالة التصلب السطحي لlagذية المجففة به ، بسبب ان سرعة التجفيف تؤدي الى سرعة خروج الرطوبة من الغذاء وبالتالي يحصل ترسب للسكريات في الانابيب الشعرية في الغذاء وتتصلب وتنسد المسامات وبالتالي تحجز الرطوبة في داخل الغذاء وتمنع خروجها الى الخارج اضافة الى وجود طبقة سطحية صلبة تمنع خروج الرطوبة من الغذاء.

معامل انتشار الرطوبة:

يحسب من المعادلتين الآتتين:

$$D = \frac{R^2 k}{\pi^2} (3-43)$$

$$D = \frac{R^2 k}{5.7331} (3-44)$$

تسخدم المعادلة (3-43) لlagذية الدائرية الشكل بينما المعادلة (3-44)

تسخدم لlagذية الاسطوانية الشكل.

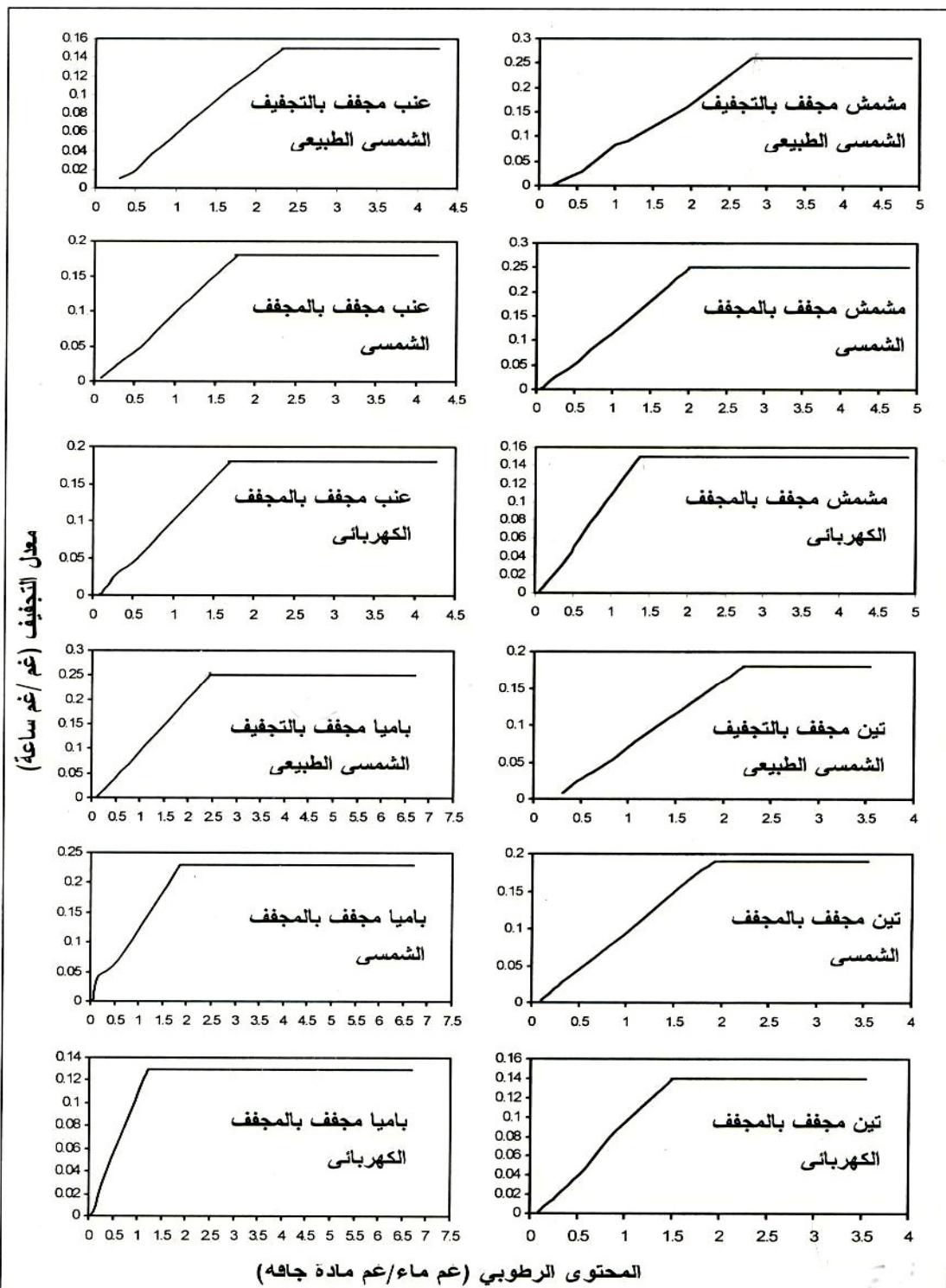
حيث:

D : معامل انتشار الرطوبة ($\text{سم}^2/\text{ث}$)

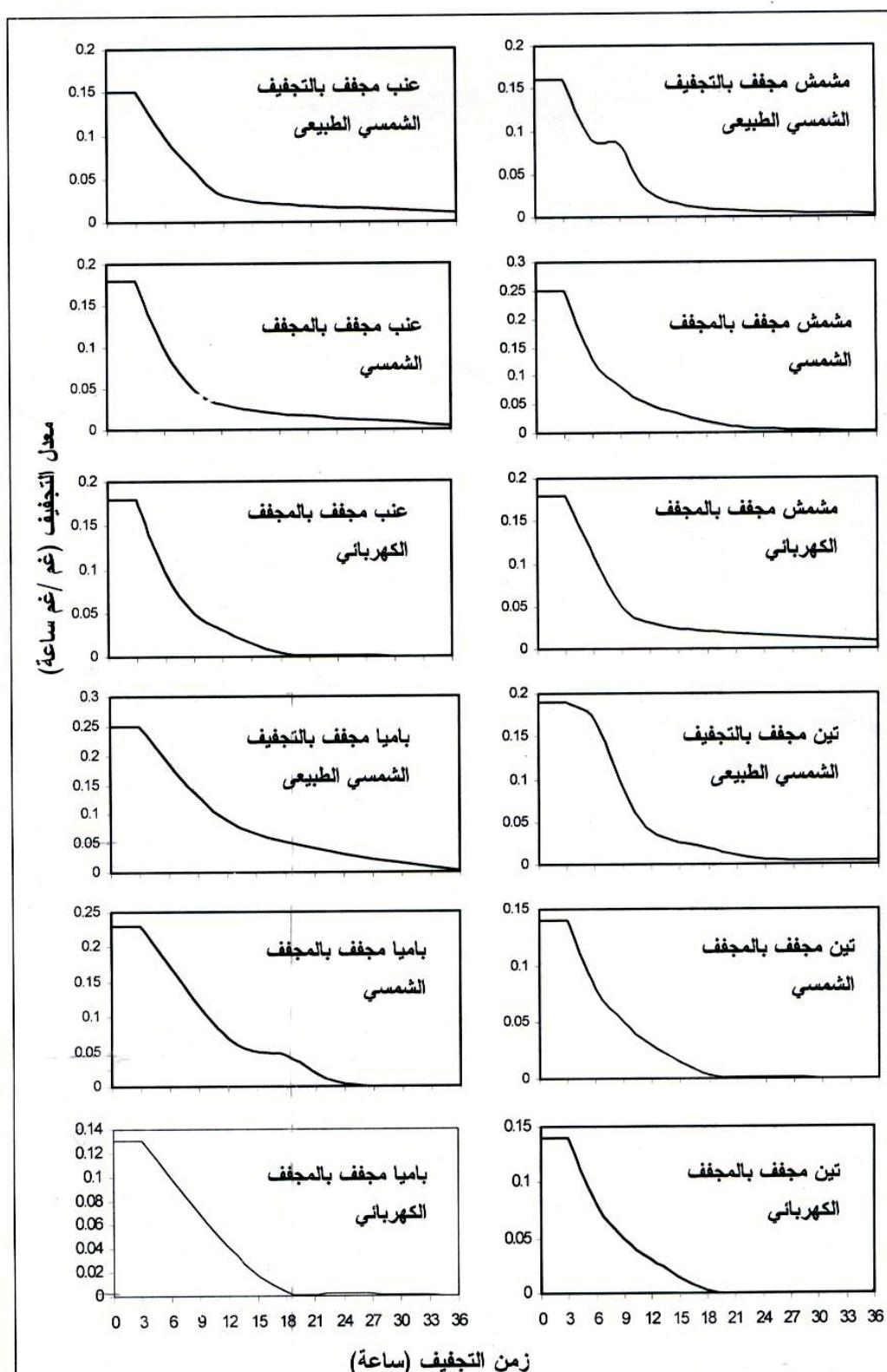
R : نصف قطر الغذاء (سم)

نلاحظ من الشكل (3-35) ان معامل انتشار الرطوبة لlagذية المجففة بالمجفف الشمسي هي اعلى من طريقتي التجفيف الاخرين لlagذية جميعها ماعدا التين والعنب فقد كانت متقاربة جدا ، وهذا يشير الى ان خروج الرطوبة من الاغذية بواسطة المجفف الشمسي هي افضل من طريقتي التجفيف الاخرين ، اما في حالة العنب والتين فأن تقاربهما قد يعود الى وجود الطبقة الشمعية التي تعيق خروج الرطوبة منها الا ان المجفف الكهربائي يسبب انكماس كبير لlagذية المجففة وهذا بدوره ايضاً يعيق انتشار الرطوبة وخروجها من الغذاء. كما ان

الرطوبة المزالة في مرحلة معدل التبخر المتازل تكون عن طريق الانتشار الرطوي



شكل(3-32): العلاقة بين معدل التجفيف والمحتوى الرطوي للاغذيه المختلفه والمجففة بطرق تجفيف مختلفه.

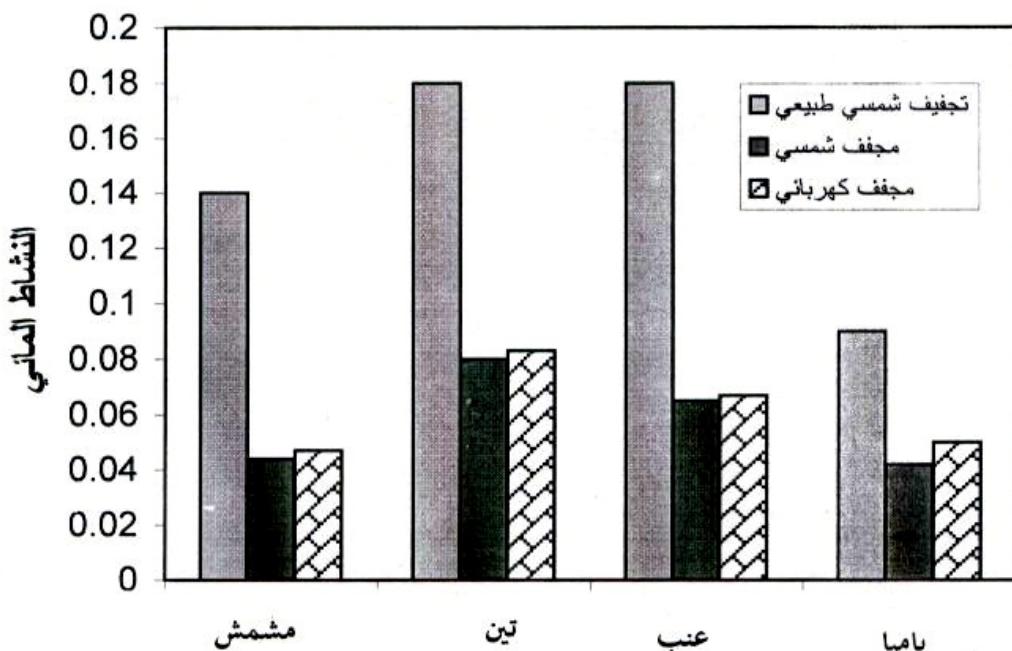


شكل(3-33): العلاقة بين معدل التجفيف والمحتوى الرطوبى للاغذيه المختلفه والمجففة بطرق تجفيف مختلفه.

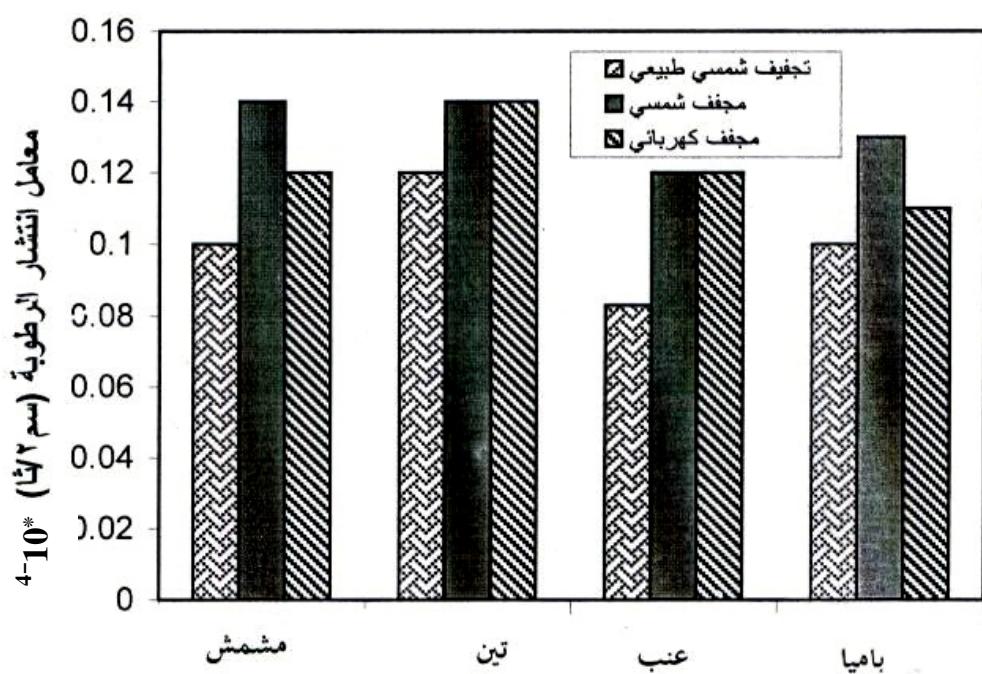
جدول (3-3): تأثير طائق التجفيف على ثابت التجفيف ومعامل استرجاع الماء ونسبة الرطوبة بعد الاسترجاع لعدة أغذية.

الاغذية	طائق التجفيف	ثابت التجفيف (ساعة ⁻¹)	معامل استرجاع الماء	نسبة الرطوبة (%) بعد الاسترجاع (%)
مشمش	تجفيف شمسي طبيعي	٠.٠٩٤	٠.٣٧٨	b ٦٠.٠١
	مجفف شمسي	٠.١٢٩	a ٠.٤٠٦	a ٦٢.١٠
	مجفف كهربائي	٠.١١٣	c ٠.٣٠٦	c ٥١.٠٣
	المعدل	٠.١١٢	b ٠.٣٦٣	b ٥٧.٧١
تين	تجفيف شمسي طبيعي	٠.٠٩٢	٠.٣٢١	b ٤٠.٦٩
	مجفف شمسي	٠.١٠٦	a ٠.٤٦٥	a ٥٨.٢٨
	مجفف كهربائي	٠.١٠٣	c ٠.٣١١	c ٣٨.٦٠
	المعدل	٠.١٠٠	b ٠.٣٦٥	c ٤٥.٨٥
غرب	تجفيف شمسي طبيعي	٠.٠٧٣	٠.٢٤٣	b ٣١.٧٠
	مجفف شمسي	٠.١٠٦	a ٠.٦٢٧	a ٦٨.٤٥
	مجفف كهربائي	٠.١٠٥	c ٠.٢٣٨	c ٢٥.٩٠
	المعدل	٠.١٠٧	b ٠.٣٦٩	d ٤٢.٠١
باميا	تجفيف شمسي طبيعي	٠.١٠٧	٠.٦١٨	b ٧٩.٦٨
	مجفف شمسي	٠.١٣٠	a ٠.٦٣٤	a ٨٠.٧١
	مجفف كهربائي	٠.١١٠	c ٠.٥٤٨	c ٧٧.٩٤
	المعدل	٠.٦٠٠	a ٠.٦٠٠	a ٧٩.٩٤

- الاحرف المتشابهة تشير الى عدم وجود فروق معنوية بين المعاملات
- الاحرف المختلفة تشير الى وجود فروق معنوية بين المعاملات



شكل(3-34): النشاط المائي لأغذية مجففة بطرق تجفيف مختلفة.



شكل(3-35): معامل انتشار الرطوبة لأغذية مجففة بطرق تجفيف مختلفة.

يلاحظ من الشكل (36-3) ان نسبة التشرب للمشمش والتين والباميما قد تأثرت معنويًا بطرق التجفيف وأعطى المجفف الشمسي أعلى نسبة استرجاع الماء من التجفيف الشمسي الطبيعي و المجفف الكهربائي للأغذية الثلاث وبلغت 2.25 ، 2.06 ، 4.66 غم ماء / غم مادة جافة للمشمش والتين والباميما على التوالي . وهذا يعود الى ان تاثير البروتين ومطاطية الخلايا والقدرة الانتفاخية للمركبات النشوية والاصماغ داخل الخلايا والمركبات الغروية في الانسجة الغذائية يكون اقل عند استعمال المجفف الشمسي في تجفيف الأغذية مقارنة مع التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي بسبب ان درجة الحرارة ترتفع بشكل تدريجي وليس بصورة مفاجئة كما يحصل في حالة المجفف الكهربائي الذي يسبب تلف للخلايا. ومن ملاحظاتي النظرية رأيت انه في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فان الأغذية تتعرض الى التلوث ومهاجمة الحشرات والاشعة فوق البنفسجية التي تسبب ضررا للأغذية مما يجعل الأغذية اقل قدرة على امتصاص الماء. ولم يظهر تاثير معنوي لطرق التجفيف على نسبة استرجاع الماء للعنب.

اما بخصوص الاس الهيدروجيني فقد اظهرت النتائج في الشكل (37-3) ان الاس الهيدروجيني للمشمش والتين والعنب والباميما لم يتاثر معنويًا بطرق التجفيف . وظهر هنالك انخفاض طفيف في الاس الهيدروجيني للأغذية المجففة عن الأغذية الطازجة وكان الاس الهيدروجيني للأغذية المجففة بالمجفف الشمسي اقرب الى الاس الهيدروجيني للأغذية الطازجة من التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي .

يوضح الشكل (38-3) ان الامتصاص الضوئي للمشمش والعنب والباميما قد تأثر معنويًا بطرق التجفيف وكانت اقل قيمة له عند استعمال المجفف الشمسي ثم التجفيف الشمسي الطبيعي ثم المجفف الكهربائي . وهذا يعود الى ان التلوث البني يكون اقل في حالة استعمال المجفف الشمسي اذ ان درجة الحرارة المستعملة فيه هي اقل من تلك المستعملة في المجفف الكهربائي وتزداد بشكل تدريجي مع الزمن . اما في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فان الأغذية تتعرض الى اشعة الشمس بشكل مباشر مما يؤدي الى رفع درجة حرارة الأغذية بشكل كبير نتيجة تركيز الإشعاع

الشمسي عليها مما يؤدي الى حصول تفاعلات ميلارد او اكسدة حامض الاسكوربيك ورداة لون الأغذية المجففة بهذه الطريقة اذ انها تكتسب رطوبة من الجو اثناء الليل.

بينما لم تظهر اختلافات معنوية بين طرائق التجفيف على الامتصاص الضوئي للتين . كما بينت النتائج انه لم يظهر تباين معنوي بين الممشمش الطازج والممشمش المجفف بالتجفيف الشمسي الطبيعي وبالمجفف الشمسي ، ولم يظهر اختلاف معنوي بين طريقة التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الشمسي ، الا ان كلاهما اختلفا معنويًا مع المجفف الكهربائي وكذلك بالنسبة للعنبر والباميما فقد كانت الاختلافات معنوية بينهما . وهذا بسبب ارتفاع درجة حرارة سطوح الأغذية المجففة بالمجفف الكهربائي مما يؤدي الى رداءة اللون ، وكان الامتصاص الضوئي للأغذية المجففة بالتجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الشمسي والمجفف الكهربائي اعلى من الامتصاص الضوئي للأغذية الطازجة . وهذا يعود الى حدوث التلون البني في الأغذية المجففة اذ ان لون الأغذية الطازجة افضل من الأغذية المجففة ، كما ان لون الأغذية المجففة بالمجفف الشمسي افضل من الأغذية المجففة بالمجفف الكهربائي وبالتجفيف الشمسي الطبيعي.

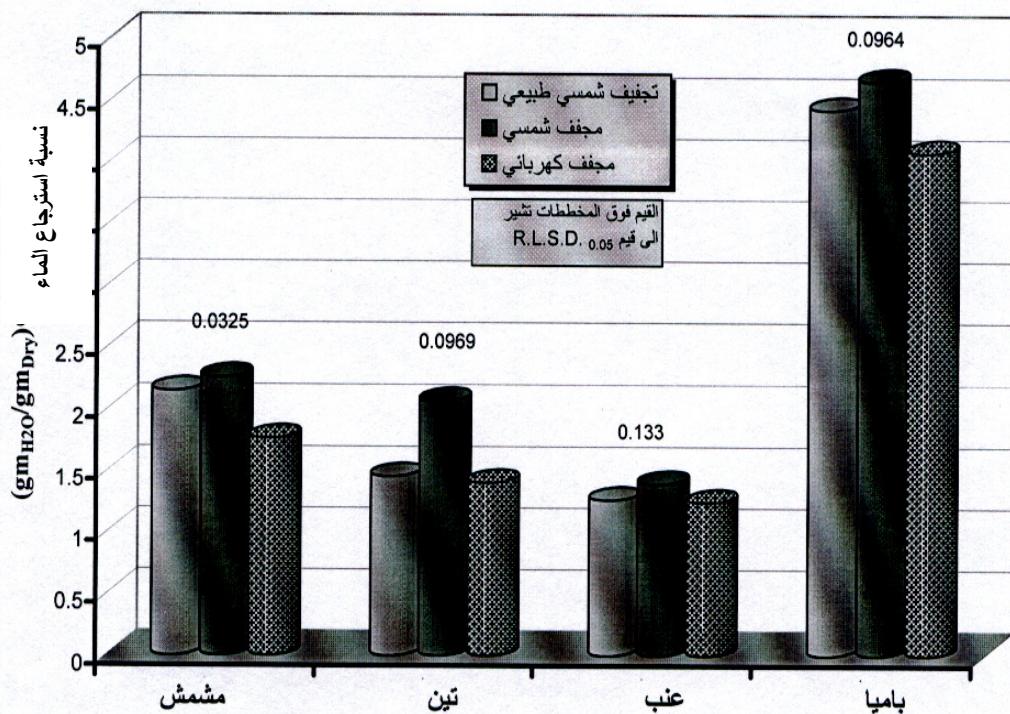
يلاحظ من الشكل (39-3) ان طرائق التجفيف كان لها تأثير معنوي على فيتامين C للأغذية جميعها . واعطى المجفف الشمسي اعلى قيمة من فيتامين C مقارنة مع التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي للأغذية جميعها ، ثم يليها التجفيف الشمسي الطبيعي ثم المجفف الكهربائي . وهذا يعود الى ان المدة الزمنية التي تتعرض فيها الأغذية الى الحرارة العالية هي اقل عند استخدام المجفف الشمسي منه عند استعمال المجفف الكهربائي مما يؤدي الى تقليل الفقدان في فيتامين C من الأغذية . اما في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فان الأغذية تتعرض الى شدة الإشعاع الشمسي المباشر مما يؤدي الى زيادة الفقدان في فيتامين C بشكل اكبر مما لو استخدم المجفف الشمسي . الا ان الفروقات بين طرائق التجفيف في حالة الممشمش والتين لم تكن معنوية . وكذلك الفروقات بين التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي لم تكن معنوية .

كما بيّنت النتائج ان محتوى الأغذية الطازجة من فيتامين C اعلى من محتواها عندما تكون مجففة ولطرق التجفيف جميعها. وهذا يحدث بسبب ان الأغذية المجففة تفقد فيتامين C بسبب حدوث الاكسدة لفيتامين C بتأثير الحرارة والاوكسجين .

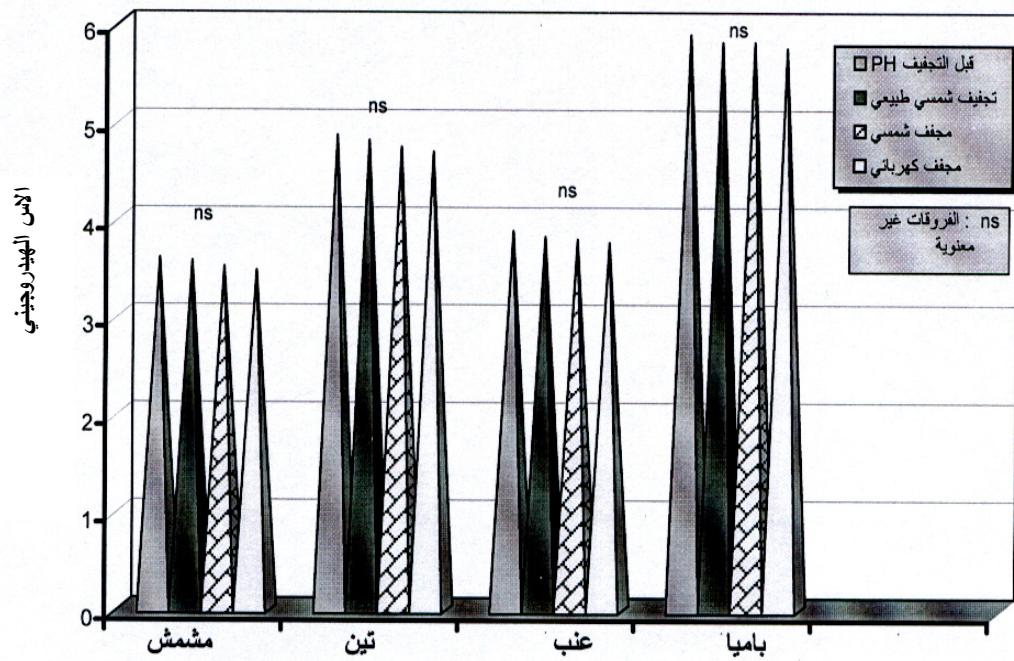
يلاحظ من الشكل (3-40) ان طرائق التجفيف قد اثرت معنويا على محتوى الأغذية من السكريات الكلية . وكان محتوى الأغذية المجففة منها اعلى عند استعمال المجفف الشمسي مقارنة مع التجفيف الشمسي الطبيعي والمجفف الكهربائي ، ثم يليه التجفيف الشمسي الطبيعي ثم المجفف الكهربائي . وهذا نتيجة لحدث التلون البني بشكل اقل عند استعمال المجفف الشمسي مقارنة مع المجفف الكهربائي ويرافق الاخير حدوث عملية الكرملة أيضا بسبب الحرارة العالية . مما يجعل السكريات في الأغذية المجففة بالمجفف الكهربائي اقل من تلك المجففة بالمجفف الشمسي كما انه لم تحصل كرملة للسكر في الأغذية المجففة بالمجفف الشمسي اما التي في التجفيف الشمسي الطبيعي فقد كان محتواه من السكريات الكلية اعلى معنويا من التجفيف الشمسي الطبيعي .

يلاحظ من الشكل (3-41) ان طرائق التجفيف كان لها تأثير معنوي على محتوى الأغذية من بيتا - كاروتين ، ماعدا محتوى التي في التجفيف من بيتا - كاروتين اذ لم يتاثر معنويًا بطرق التجفيف . ولم تظهر فروق معنوية بين المشمش المجفف بالتجفيف الشمسي الطبيعي وبالمجفف الكهربائي .

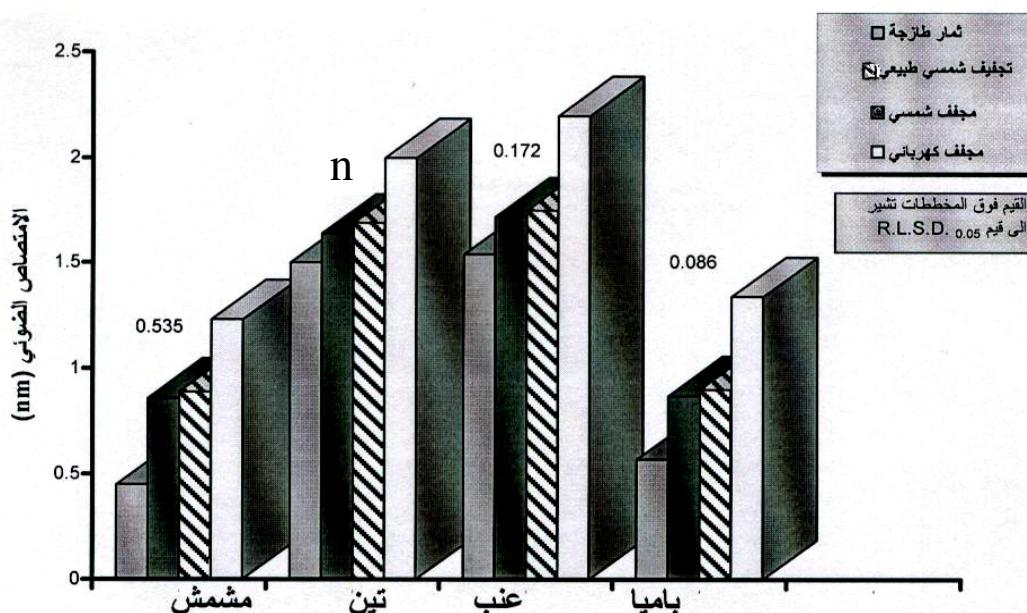
بيّنت النتائج ان محتوى الأغذية من بيتا - كاروتين كان اعلى عند استعمال المجفف الشمسي منه عند استعمال المجفف الكهربائي والتجفيف الشمسي الطبيعي ، ثم يليه المجفف الكهربائي ثم التجفيف الشمسي الطبيعي . وهذا يعود الى ان فقد الكاروتينات من الأغذية المجففة عند استعمال المجفف الشمسي يكون اقل من استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي بسبب عدم تعرض الأغذية الى الضوء الذي يسبب تلف الكاروتينات ، وكذلك ارتفاع درجة الحرارة المفاجئة تؤثر عليه كما يحدث في المجفف الكهربائي . كما اوضحت النتائج ان محتوى الأغذية الطازجة من بيتا - كاروتين كان اعلى منه عند استعمال طرائق التجفيف المختلفة للأغذية



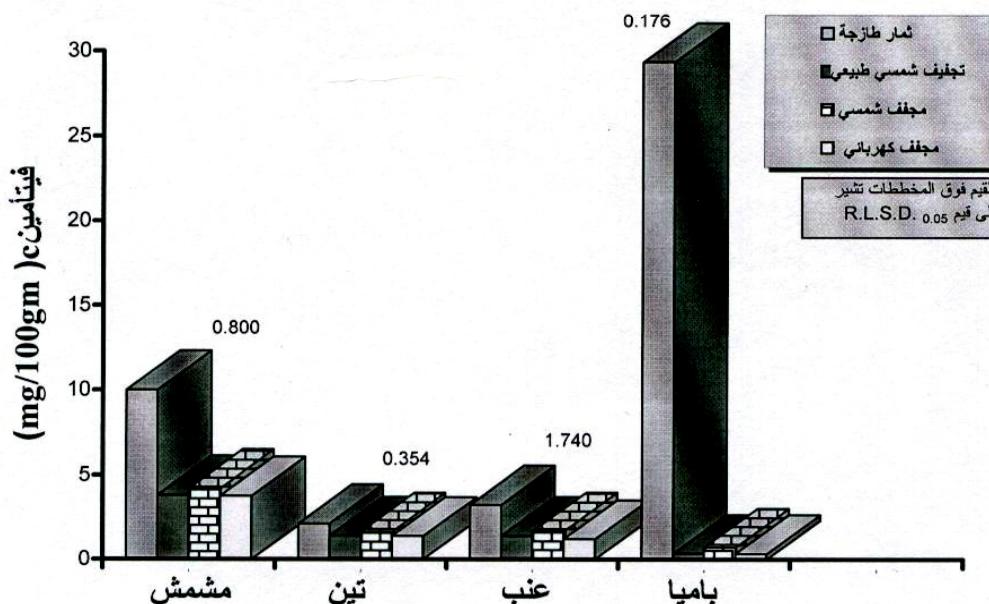
شكل(3-36): نسبة استرجاع الماء لعدة أغذية وبطائق تجفيف مختلفة .



شكل(3-37): الاوس الهيدروجيني لعدة أغذية وبطائق تجفيف مختلفة .

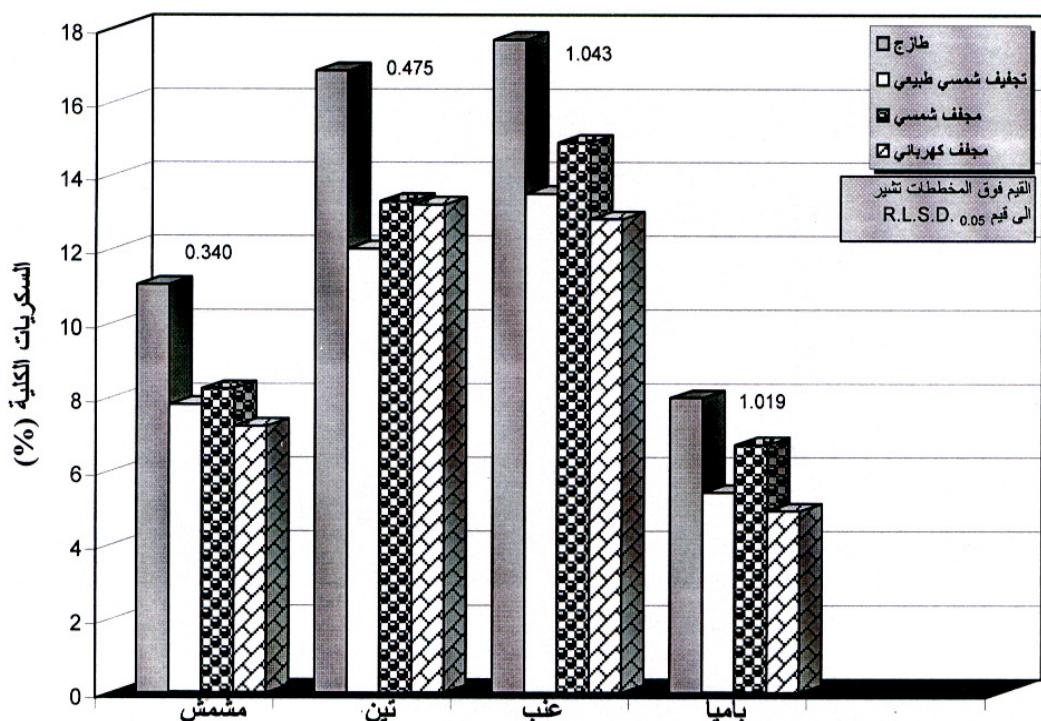


شكل(38-38): الامتصاص الضوئي لعدة أغذية وبطائق تجفيف مختلفة

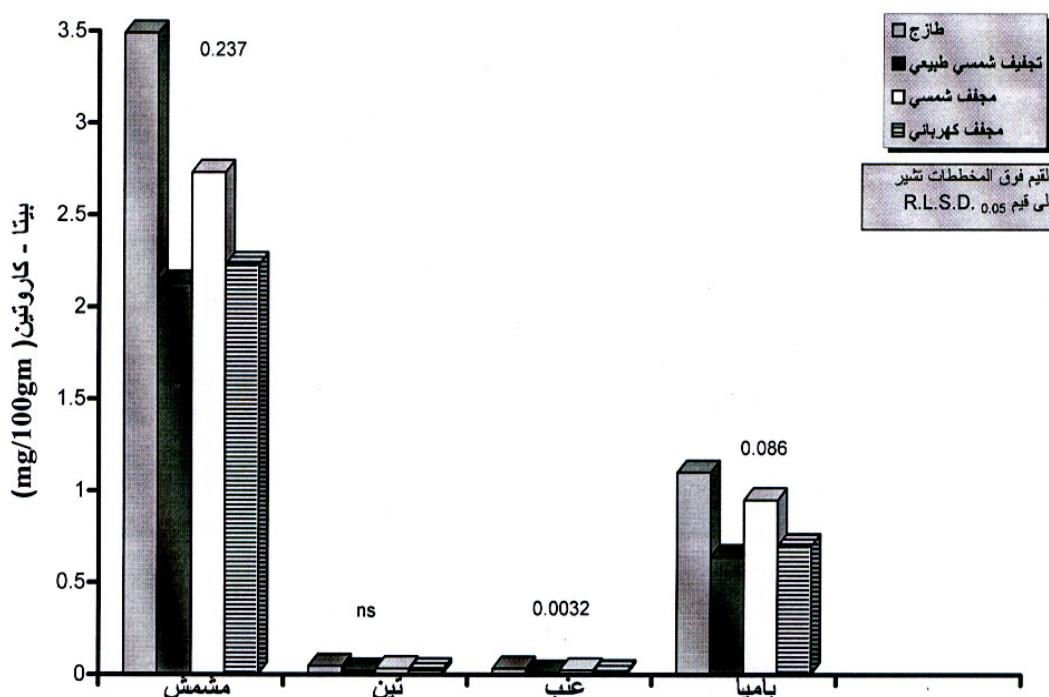


شكل(39-39): فيتامين C لعدة أغذية وبطائق تجفيف مختلفة .

اسعد وعمران الحلفي التجفيف بالطاقة الشمسية



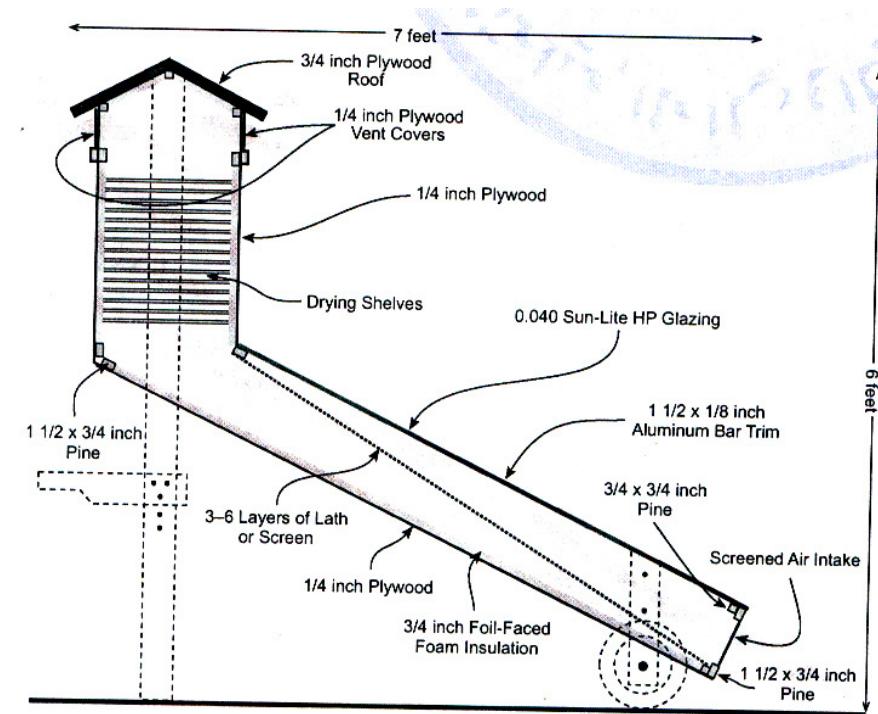
شكل(3-40): محتوى الأغذية الطازجة والمجففة بطرق تجفيف مختلفة من السكريات الكلية.



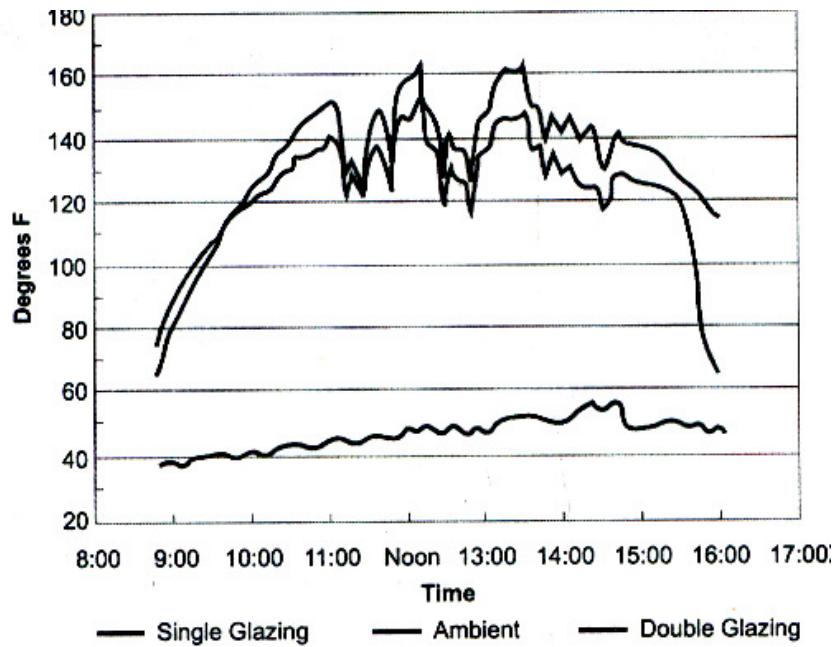
شكل(3-41): محتوى الأغذية الطازجة والمجففة بطرق تجفيف مختلفة من بيتا-كاروتين .

هناك عدد من المجففات تم تطويرها وتحسين اداءها وهي تتكون من صناديق خشبية مزودة بفتحات تهوية من الاعلى والاسفل ،الغذاء يوضع على قماش سلكي وهو ينزلق بداخل الصناديق. المجمع الشمسي يكون باتجاه الجنوب دائماً ومزود بغطاء بلاستيكي شفاف او زجاج وممتص معدني اسود يصل الى اسفل الصناديق . الهواء يدخل من اسفل سخان الهواء الشمسي ويُسخن بواسطة الممتص المعدني الاسود ،الهواء الساخن يرتفع الى الاعلى ويخرج من فتحة التهوية العلوية شكل (3-42). عند تشغيل هذه المجففات فانها تعطي درجات حرارة من 54-82 درجة مئوية وهو ملائم لتجفيف اغلب الاغذية والبسترة ، وهذه المجففات قد تعمل على تجفيف الاغذية خلال يوم واحد ،حتى عندما يكون الجو غائماً جزئياً وعند وجود الضباب وكذلك الجو الرطب جداً وهي تستوعب من 35-40 تقاة او خوخ متوسط الحجم مقطع الى شرائح رقيقة. عند استخدام طبقتين من الزجاج بينهما فجوة مقدارها 19 ملم في المجمع الشمسي فان درجة الحرارة فيه تكون اعلى قليلاً من حالة استخدام طبقة واحدة،شكل (3-43) ان استعمال طبقتين من الزجاج هو ليس ضرورياً في المجمعات الشمسية على الرغم من انه يقلل الفقدان الحراري ولكنه يزيد كلفة بناء المجفف، كما ان احدى مشاكله تسبب تكثيف للرطوبة الموجدة في الهواء بين الطبقتين.

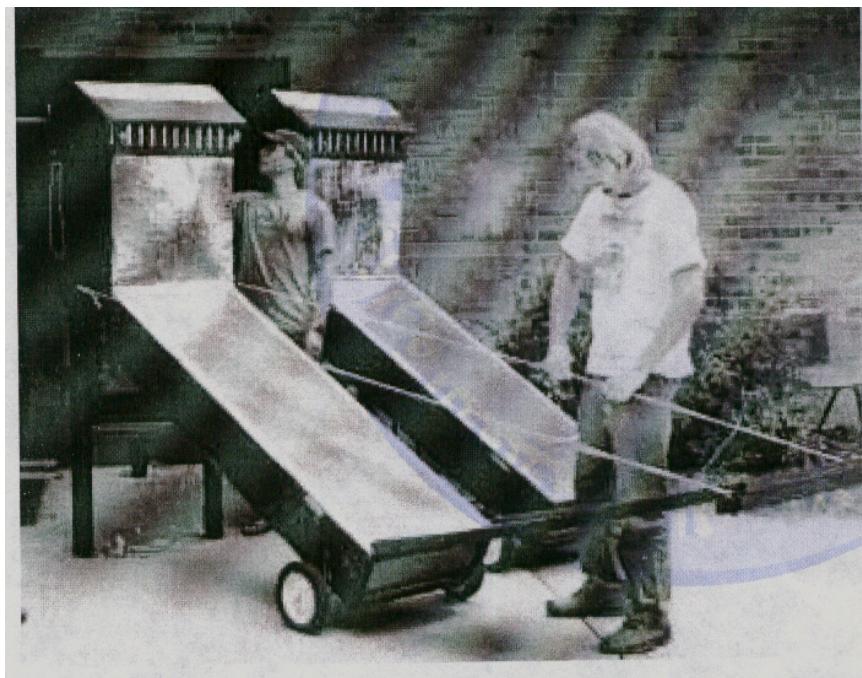
وكذلك يوضع عاكس على ضلع غرفة التجفيف المواجهة للجنوب فوق نهاية المجمع الشمسي شكل (3-44) . يتم طلاء هذا الضلع بلون لامع او يغطى بطبقة رقيقة من الالمنيوم او بواسطة مرآة حيث تتعكس بعض الطاقة الاضافية الى المجمع الشمسي وايضاً يحمي الخشب من التشققات ويساعد تحطمه . بفعل اشعة UV وان زاوية الانعكاس تساوي زاوية سقوط الاشعاع .



شكل(3-42): مجفف شمسي غير مباشر ذو صفيحة امتصاص مشبكة.

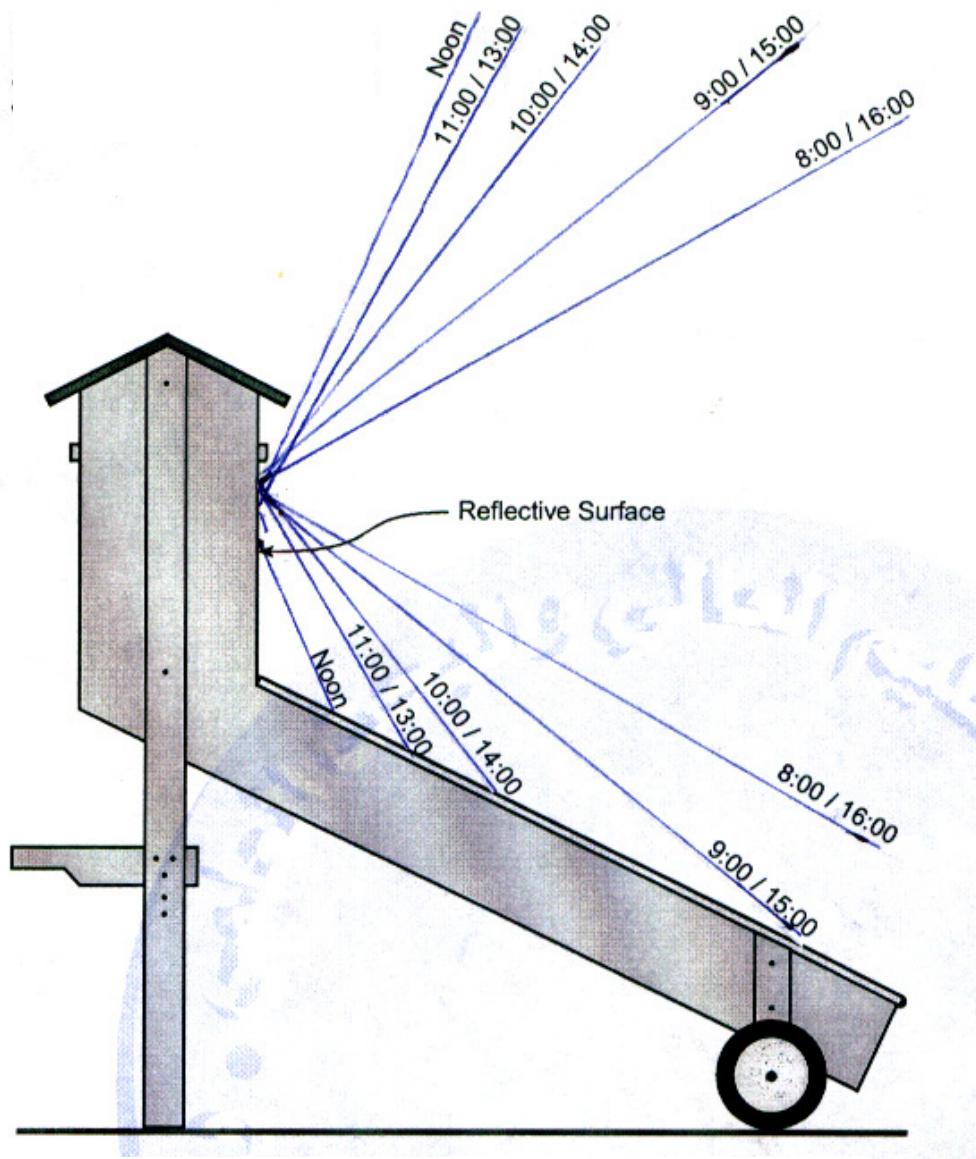


شكل(3-43): درجة الحرارة في المجفف الشمسي عند استخدام اكثر من طبقة زجاج في المجمع الشمسي.
(Scanlin,1997)

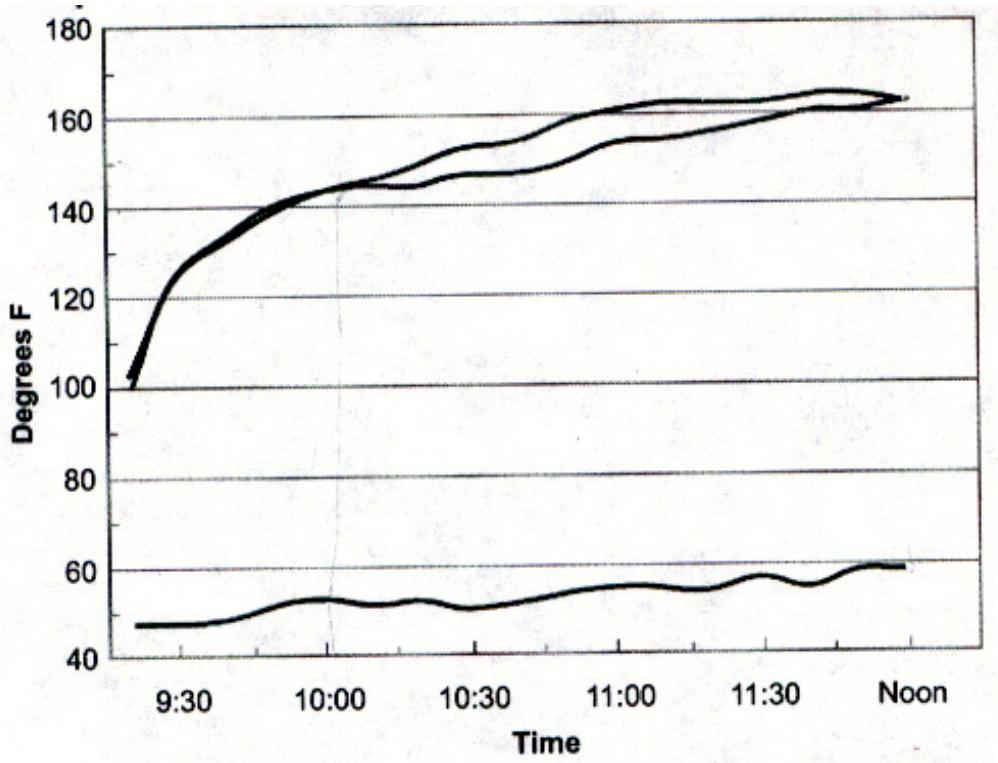


شكل(3-44): وجود عاكس على مجمع المجفف الشمسي.

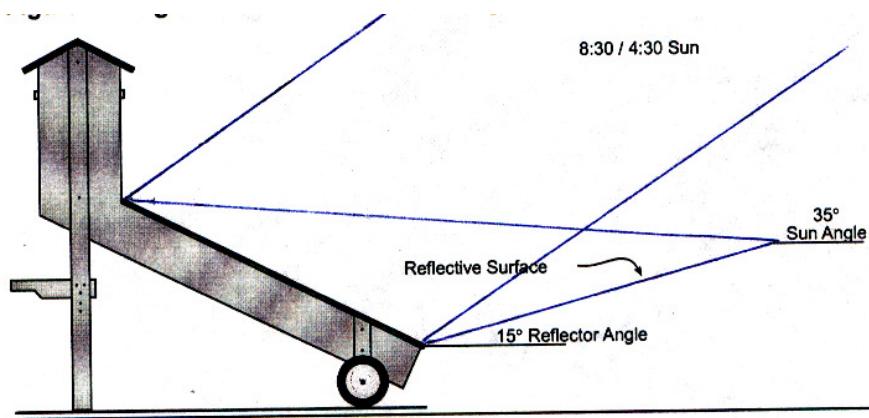
يوضح الشكل (3-45) ان المجفف الشمسي اذا ما تم تحريكه بحيث يواجه اشعة الشمس باستمرار (يتعقب الشمس) فانه سوف يعطي طاقة اضافية الى المجفف الشمسي خلال اليوم. كما يلاحظ من الشكل (3-46) ان هنالك زيادة قليلة في درجة الحرارة عند استخدام عاكس مفرد في مقدمة المجمع الشمسي والمجفف يتم تحريكه عدة مرات خلال اليوم لكي يكون اداءه افضل ما يمكن وهذه العملية تجعله يتعقب زاوية السمت للشمس . زاوية الارتفاع من العاكس ايضا لاتحتاج الى تنظيم خلال اليوم وتكون 15 درجة فوق خط الافق في الصباح والمساء و 45 درجة فوق خط الافق عند الظهر شكل (3-47) و (3-48) . ان العاكس يضيف من 2.4 - 4.8 درجة مؤدية للمجفف ويزيل رطوبة اكثر قليلا من المجفف الشمسي الذي بدون عاكس.



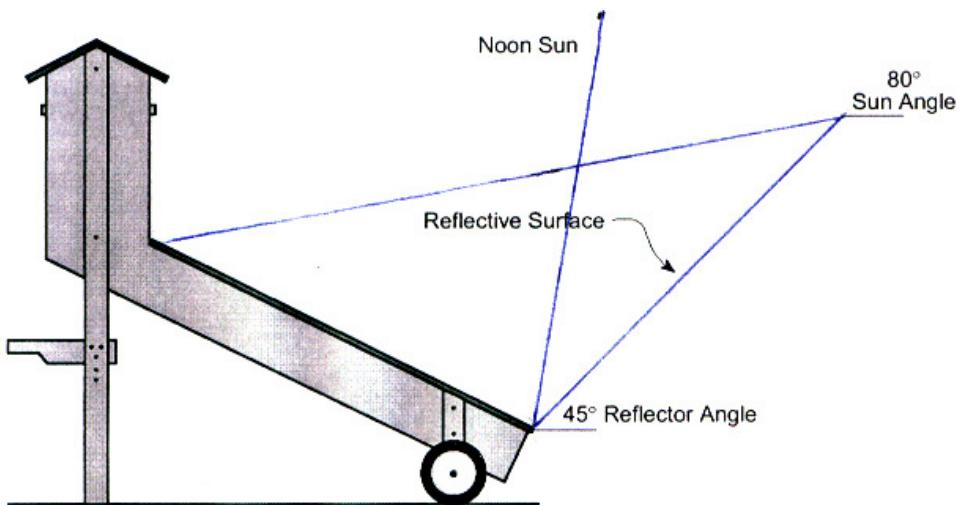
شكل(3-45): تعقیب المجفف الشمسي لأشعة الشمس.



شكل(3-46): درجات الحرارة في المجف الشمسي عند استخدام الجدار العاكس المواجه للجنوب.



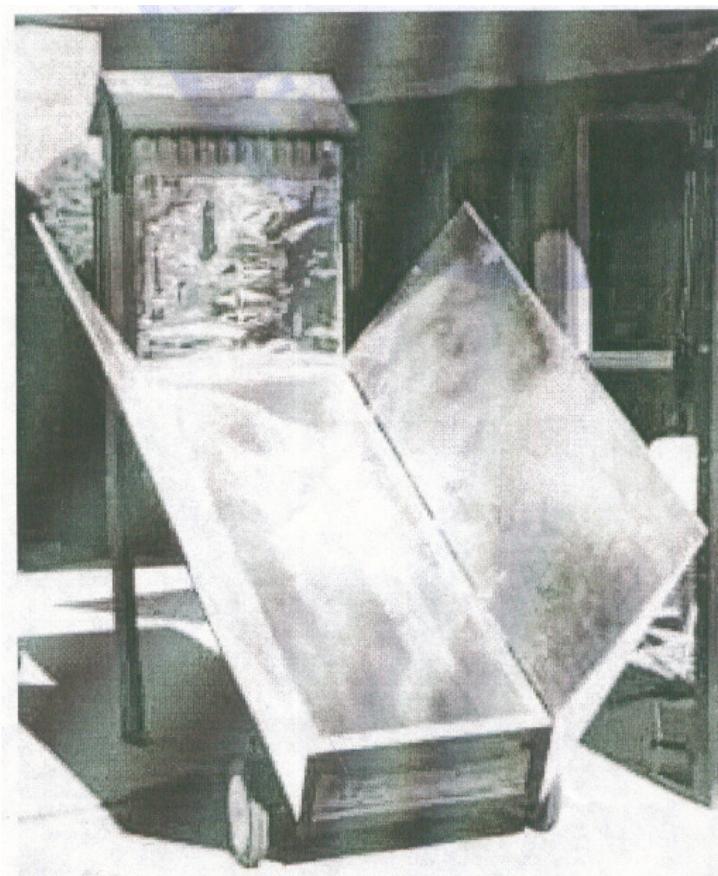
شكل(3-47): استخدام عاكس مفرد في مجمع المجف الشمسي.



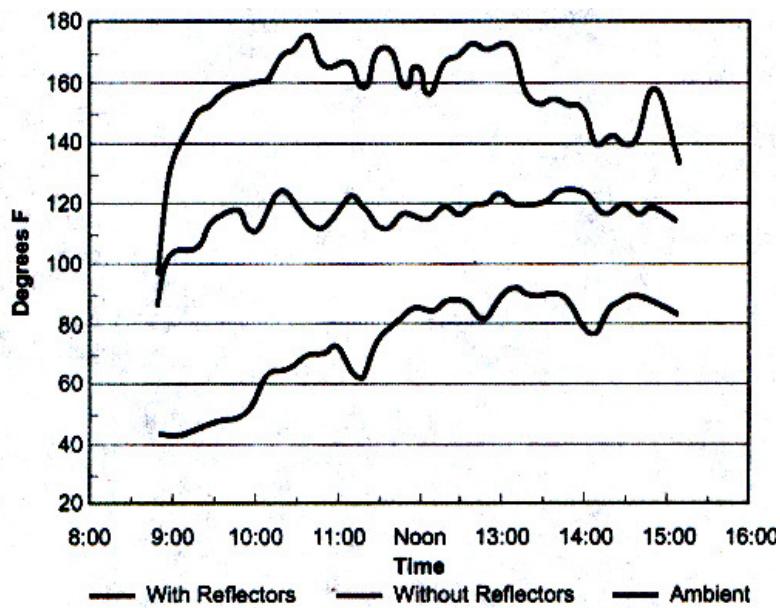
شكل (3-48): زاوية الارتفاع من العاكس في مجمع المجفف الشمسي.

هناك طريقة اخرى لتحسين اداء المجففات الشمسية باستخدام العاكسات Reflectors ويمكن ان توضع على جانبي المجمع الشمسي شكل (3-49) . وهذه الطريقة يمكن ان تزود المجمع الشمسي بطاقة اعلى من العاكس المفرد او الزجاج المتعدد وان الزاوية المثلثية لها 120 درجة من سطح المجمع الشمسي. يلاحظ من الشكل (3-50) ان هنالك زيادة معنوية في درجة الحرارة عند استخدام العاكسات ، الا انه تظهر مشكلة عند عدم تدوير المجفف (التعقب Traking) وهي حدوث ظل للعاكس على المجمع الشمسي . وهنا استخدام العاكس المفرد هو افضل من العاكسات الجانبية في حالة عدم تعقب الشمس .

يلاحظ من الشكل (3-50) ان وجود العاكس ادى الى زيادة في درجة الحرارة في غرفة التجفيف اكثر من حالة عدم وجوده.



شكل (3-49) : استخدام عاكسات على جانبي مجمع المجفف الشمسي.

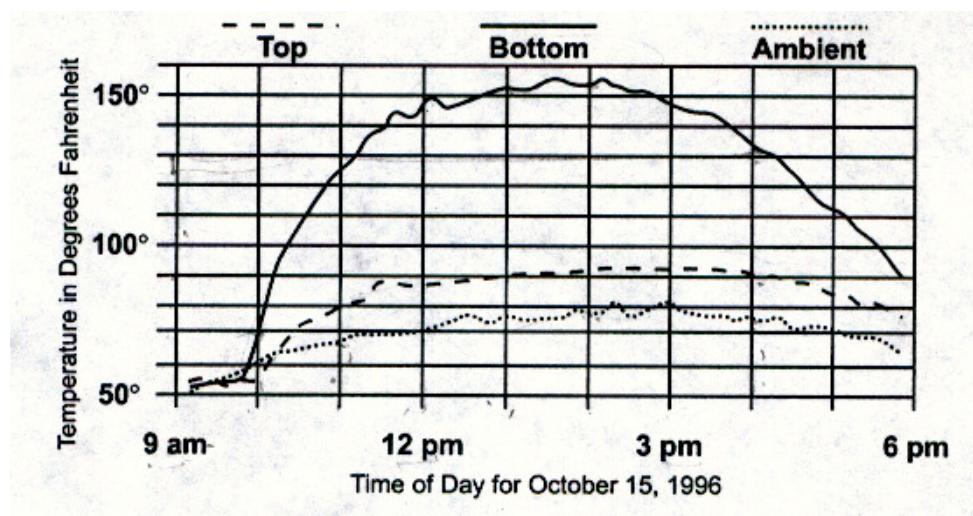


شكل (3-50) : تأثير العاكسات على درجة الحرارة في المجفف الشمسي.

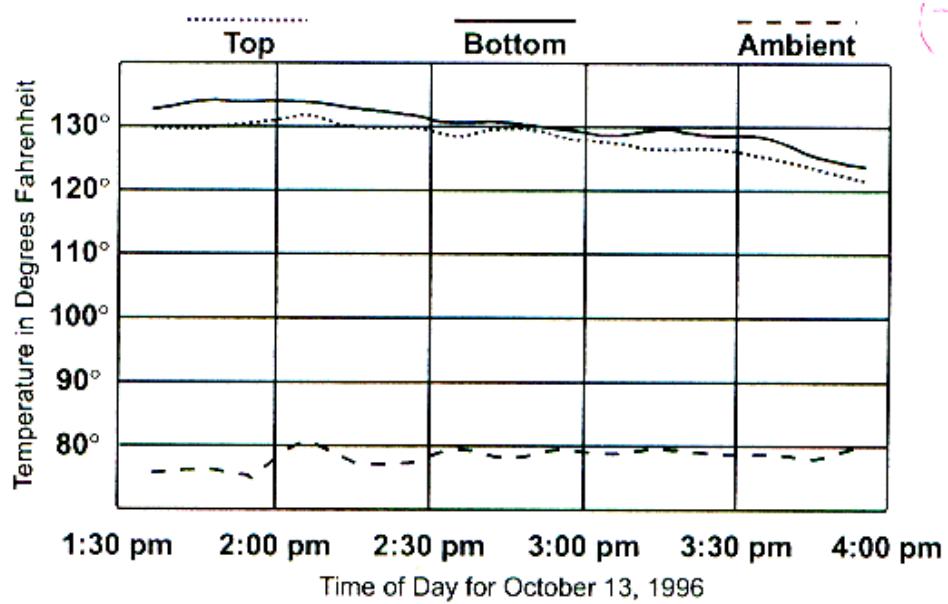
يوضح الشكل (3-51) درجة الحرارة اسفل طبق الغذاء وفوقه ودرجة حرارة الجو ، وضعت فيه 25 شريحة من التفاح في يوم مشمس والرطوبة النسبية فيه 62% و 93% في نهاية اليوم فان التفاح الموجود في الاطباق الخمسة قد جفت بينما الاطباق الخمسة العلوية فانها لم تجف.

يوضح الشكل (3-52) ان المجف ي العمل في مساء اليوم الثاني وهو محمل بالغذاء وبدون استعمال العاكستات ان درجة الحرارة في اعلى المجف قد ازدادت كما ان الغذاء الموجود في الاعلى قد جف وفي نهاية ذلك اليوم قد جف جميع التفاح وظهرت عليه علامات تشبه التشققات. وكذلك بالنسبة للشكل (3-53).

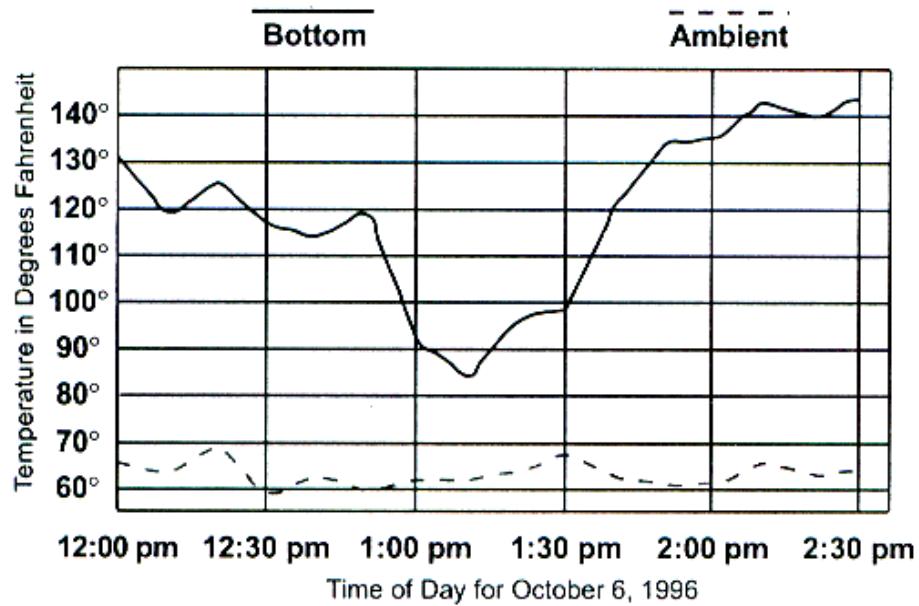
هناك بعض المشاكل تظهر مع ارتفاع درجة حرارة التجفيف حيث ان فيتامين C يفقد عند درجة الحرارة 167 فهرنهايت اكثر من عندما تكون 131 فهرنهايت وان اكبر كمية من فيتامين C تفقد خصوصا اذا تعرض الى ضوء الشمس مع الحرارة



شكل (3-51) : درجة الحرارة اسفل الطبق في المجف الشمسي لليوم الاول للتجفيف.



شكل (3-52) : درجة الحرارة اسفل واعلى اطباق المجفف الشمسي للاليوم الثاني للتجفيف.



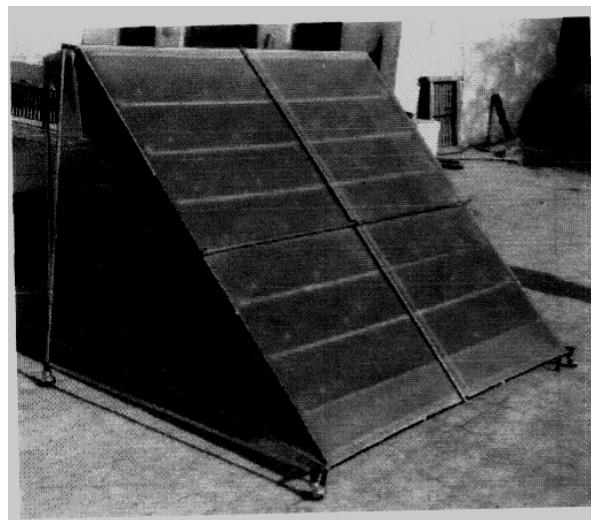
شكل (3-53) : درجة الحرارة اسفل الطبق تحت المجفف الشمسي.

المجف الشمسي المتنقل المتعدد الرفوف *Multi-Shelf Portable Solar Dryer*

يعمل هذا المجف بالحمل الطبيعي شكل (3-54) ومساحته 3.34 m^2 وهو يعتمد على نوع الغذاء المراد تجفيفه وهو يجفف من 10 - 30 كغم ومدة التجفيف فيه تتراوح بين 2 - 4 أيام مشمسة وهو يتكون من أربعة أجزاء رئيسية تمثل الأطباقي المتعددة والتي تكون بشكل طاولة وزجاج متحرك وصفحة تظليل.

الهواء يدخل من الأسفل ويتحرك باتجاه الأعلى ويمر خلال الأغذية الموجودة على الأطباقي ومن ثم يخرج إلى الخارج من الفتحة العلوية.. صفيحة التظليل مصنوعة من مادة الفايبركلاس وهي مضلعة ومتقدمة وذلك للسماح للهواء بالمرور من خلالها، وفي هذه الفتحات مثبت أنابيب بلاستيكية لمنع الإشعاع الشمسي المباشر من السقوط على الغذاء، وهذه توضع على كل طبق بعد تحميشه بالغذاء وهذه الطريقة تستعمل للأغذية التي تتطلب ان تجفف تحت الظل لتعطي منتج ذو نوعية أفضل.

هناك إطار متحرك يثبت عليه البلاستيك الشفاف نوع *UV – Stable Plastic Sheet* وهو هو مثبت على أربع عجلات حديدية شكل (3-55) وهذا يفيد في رفع درجة الحرارة بصورة أكبر ومنع تأثير الرطوبة الجوية والامطار والغبار من ان تصيب إلى الغذاء.



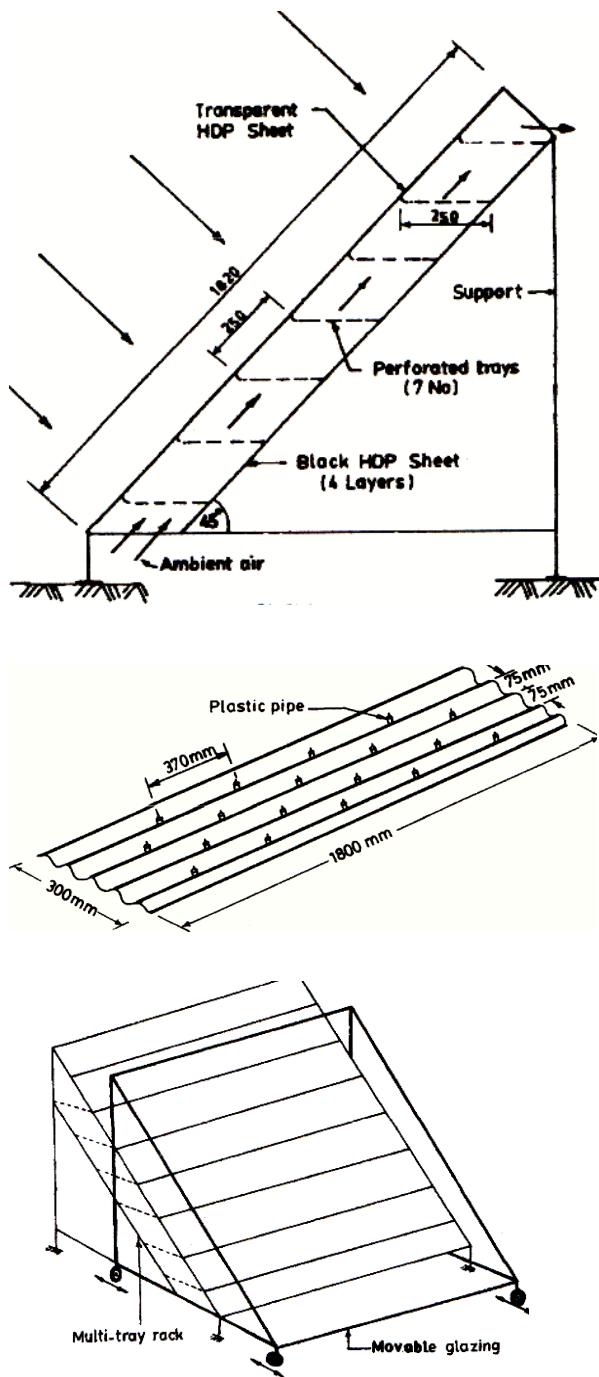
شكل (3-54) : صورة فوتوغرافية للمجف الشمسي (Singh et al., 2004)

يوضح الشكل (3-56) ان كفاءة التجفيف القياسية $Efficiency$ (% كغم⁻¹) التي حسبت من المعادلة الآتية:

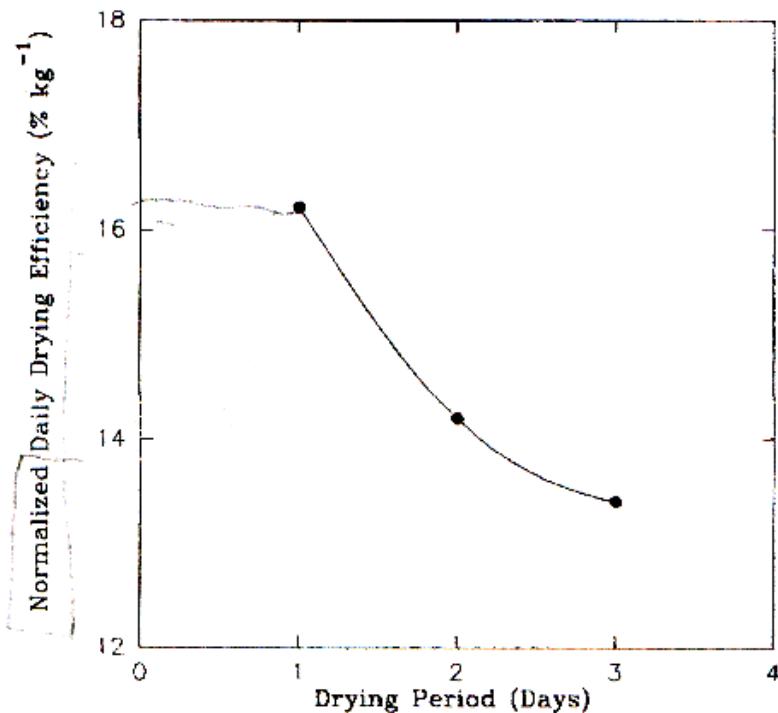
$$\eta_n = \frac{\eta_d}{W_o} \dots \dots \dots \quad (3-45)$$

η : كفاءة التجفيف اليومية (%) .

قد انخفضت بصورة قليلة للعنب خلال ثلاثة ايام من التجفيف نتيجة لنقصان كمية الماء المتاخرة من المنتج وزيادة زمن التجفيف وحصل Norton وآخرون على نتائج مشابهة للمنحنى الموجود في الشكل (3-56) وهي 16.21 % كغم⁻¹ و 14.2 % كغم⁻¹ و 13.4 % كغم⁻¹ للاليوم الاول والثاني والثالث على التوالي.



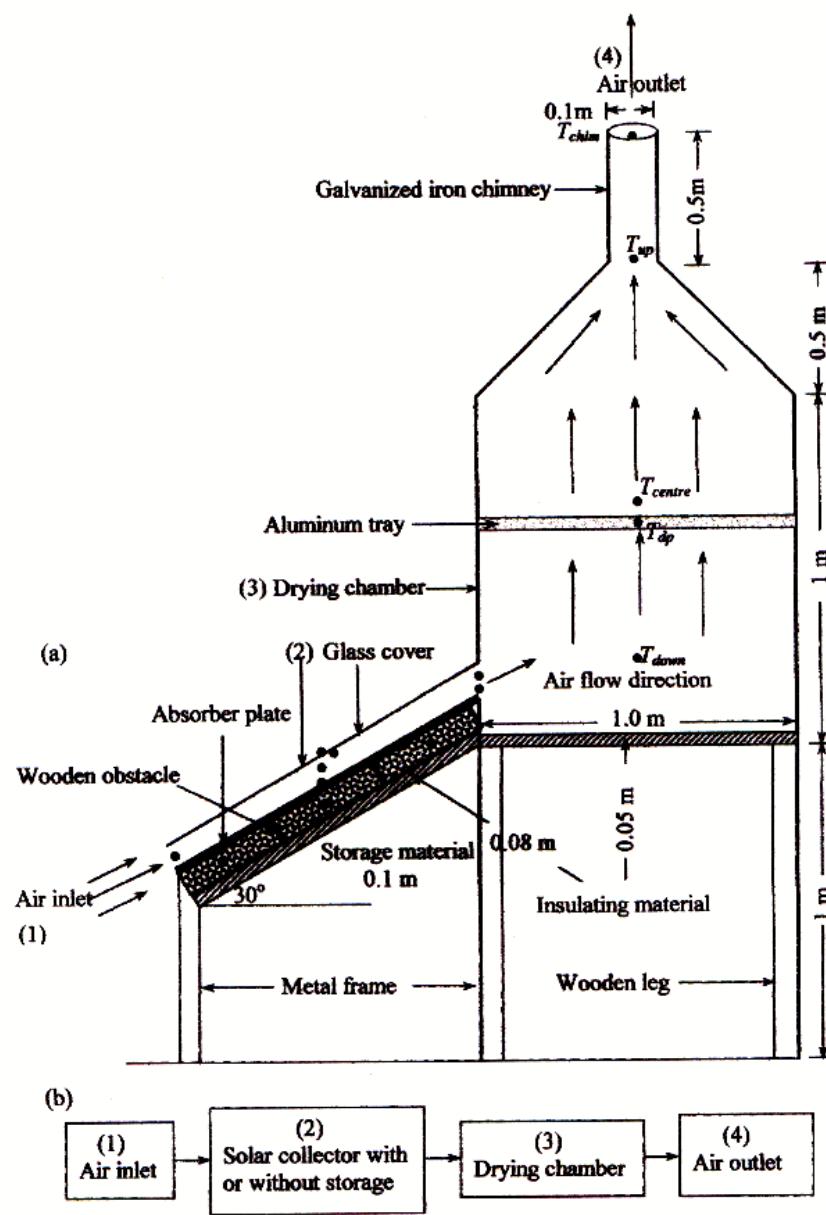
شكل (3-55) : اجزاء المجفف الشمسي المتنقل. (Singh et al.,2004).



شكل (3-56) : كفاءة التجفيف القياسية لعنب المجفف.

يوجد تصميم اخر لهذا النوع من المجففات وهو ان صفيحة الامتصاص المستوية في مجمعه الشمسي كانت مصنوعة من النحاس سمكها 0.002 م ووضع اسفلها صندوق مملوء بنشاره الخشب كغازل حراري وكانت هنالك بينهما فجوة هوائية ملئت بمادة لخزن الحرارة مثل الطين والكرافيت والرمل والغرض منها هو لتجهيز غرفة التجفيف بالهواء الحار خلال فترة الليل. شكل (3-57).

ان الهواء يجري في الفجوة بين صفيحة الامتصاص واللوح الزجاجي الى غرفة التجفيف التي تتكون من مجموعة من الااطباق الالمنيومية والمزرودة بمدخنة مصنوعة من الحديد المغلون طولها 0.5 م.



شكل (3-57) : مجفف شمسي ذو نظام حزن حراري.

تصميم مجفف شمسي غير مباشر ذو منظومة راجع:

تم تصميم مجفف شمسي مزود بمنظومة الراجع ، يميل بزاوية 30 درجة عن الأفق سعته 25 كغم من الأسماك واللحm كما في شكل (3-58) و (3-59) ، يتكون من مجمع شمسي ذي صفيحة امتصاص مضلعة بزاوية 60 درجةسوداء اللون ذات خمس قنوات ، طول القناة الواحدة 1 م وعمقها 10 سم ومساحة المجمع الشمسي هي 0.5 م^2 وحسبت من خلال معرفة الحرارة الكلية المطلوبة لتبخر الرطوبة وطاقة الاشعاع الشمسي المتوفة ومن معادلة موازنة الطاقة الآتية:

$$F_R [I_T(\tau\alpha)_e - U_L(T_i - T_{am})] A_c = Q_a \rho_a (T_o - T_i) \dots \dots \dots (3-46)$$

يمكن حساب معدل الجريان الحجمي من المعادلة الآتية:

افرض [12] ان $T_i \approx T_{am}$ وانبعاثية الزجاج (τ) قيمتها 0.85 وكذلك الامتصاصية (α) للاسطح المطلية بطلاء اسود هي 0.95 ، ومعامل الانتزاع الحراري (F_R) هو 0.7.

I_T : طاقة الاشعاع الشمسي (وط/م²)

U : معامل الفقدان الحراري الكلي (وط/م².م°)

T_i : درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع الشمسي (°م)

درجة حرارة الجو ($^{\circ}\text{م}$)

T_o : درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسي (°م)

A_c : مساحة المجمع الشمسي (م²)

Q_a : معدل الجريان الحجمي للهواء (م³/سا)

ρ_a : كثافة الهواء (كغم / م³)

w_g : وزن الغذاء الرطب (كغم)

M_i : المحتوى الرطوبى الاولى للغذاء (%)

M_f : المحتوى الرطوبى النهائى للغذاء (%)

c_a : الحرارة النوعية للغذاء (جول/كغم . كلفن)

t_d : زمن التجفيف (سا)

T_{i_1} : درجة حرارة الهواء تحت صينية التجفيف (م°)

T_f : درجة حرارة الهواء فوق صينية التجفيف . م° ويمكن حسابها من معرفة الانثالبي

والرطوبة عند تلك المنطقة

λ : الحرارة الكامنة لتبخر الماء (جول/كغم)

وعليه تكون مساحة المجمع الشمسي A_c في ظروف البصرة كالتالي:

$$A_c = \frac{Q_a \rho_a C_a (T_o - T_{am})}{0.57 I_T} \quad (3-48)$$

تم عزل المجمع الشمسي من الاسفل بواسطة نشارة الخشب سمك 5سم ومن الجوانب بنصف السمك ، يحتوي المجمع على مجرى لدخول الهواء واخر لخروجه الى غرفة التجفيف ، ومغطى بواسطة غطاء زجاجي سمك 0.4 سم .

تتكون غرفة التجفيف من ثلاثة جدران وباب مكون من صفائح خشبية سمك 0.4 سم خارجية وداخلية تفصل بينهما فجوة هوائية سمكها 1.25 سم ، وتحتوي ايضا على اطباق عددها 10 ابعاد الواحد منها $35 * 45 * 35$ سم²

زودت غرفة التجفيف بأنبوب بلاستيكي قطره 5 سم مثبت في اعلى غرفة التجفيف من جانب ومن الجانب الاخر في مقدمة المجمع الشمسي ويدخل فيه بمسافة مقدارها 20 سم ، وظيفة هذا الانبوب هي سحب الهواء المحمل بالرطوبة والساخن من غرفة التجفيف الى المجمع الشمسي اذ هنالك يتم ازالة الرطوبة منه واعادته الى غرفة التجفيف وبذلك يعمل على رفع درجة الحرارة بسرعة خصوصا عند ساعات التشغيل الاولى وكذلك في الايام الباردة وتكون عملية التجفيف شبه مغلقة .

اما عند الايام ذات الحرارة المرتفعة فأنه تستخدم فتحة للتهوية مستطيلة الشكل ذات غطاء منزلاق يمكن التحكم بمساحة الفتحة وان استخدامها يؤدي الى توقف عمل الانبوب الراوح تلقائيا ، ويخرج الهواء من فتحة التهوية بسرعة وتنخفض درجة الحرارة في غرفة التجفيف ومساحة هذه الفتحة هي $20 * 5$ سم² .

اما في حالة الايام الغائمة او الممطرة او اثناء الليل فستعمل طباخ نفطي بسيط معدل استهلاكه للوقود 0.22 (لتر/سا) يوضع اسفل غرفة التجفيف يعمل على تسخين انبوب عمودي عليها مزود بانبوب جانبي ومفتوح داخل غرفة التجفيف التي تكون فتحة تهويتها مفتوحة ويتوقف عمل الانبوب الراجرع اذ عند تسخينه فان الهواء الموجود بداخله سوف يسخن ويتمدد وتقل كثافته ويكبر حجمه ويتحرك باتجاه غرفة التجفيف اما الغازات والابخرة الناتجة من حرق النفط فانها لاتدخل الى غرفة التجفيف اذ تنتقل الى الجو مباشرة.

لقد تم حساب مساحة فتحة التهوية: من المعادلة الآتية:

$$A_v = \frac{Q_a}{V_w} \quad (3-49)$$

A_v : مساحة فتحة التهوية (م²)
 V_w : سرعة الريح (م/ثا)

حساب معدل وثابت التجفيف حسب مراحل التجفيف:

تستعمل المعادلة الآتية لحساب معدل التجفيف :

$$R_d = \frac{M_{i-1} - M_I}{\Delta t} \quad (3-50)$$

R_d : معدل التجفيف (كغم ماء/كغم مادة جافة.سا)
 M_{i-1} : المحتوى الرطبوبي عند زمن معين (كغم ماء/كغم مادة جافة).
 M_I : المحتوى الرطبوبي المراد الوصول اليه (كغم ماء/كغم مادة جافة).
 Δt : التغير في الزمن (سا)

خلال عملية التجفيف بالهواء فأن الماء يتبخّر من سطح السمك وفي الوقت نفسه يتحرك الماء ومن اعمق الطبقات وباتجاه السطح ويحصل التجفيف في هاتين في الحالات الاولى يكون سطح السمك رطباً وتعتمد ظروف التجفيف على بعض الظروف الاولى للمحيطة بالسمكة مثل سرعة الهواء والرطوبة النسبية ودرجة الحرارة والمساحة السطحية واذا كانت هذه الظروف ثابتة فأن سرعة التجفيف ستكون ثابتة يطلق على معدل التجفيف في هذه الحالة بالتجفيف بمعدل ثابت ويحسب من العلاقة الآتية :

$$\left(\frac{dM}{dt} \right)_c = \frac{M_i - M_c}{t_c} (2-51)$$

اذا يحسب زمن هذه المرحلة كالاتي:

$$t_c = \frac{M_i - M_c}{\left(\frac{dM}{dt} \right)_c} (3-52)$$

بعد ازالة الرطوبة ستظهر الحالة الثانية من التجفيف وهي التجفيف بمعدل متناقص اذ تعتمد على سرعة انتقال الرطوبة من السمسكة الى السطح فكلما انخفض المحتوى الرطوي فان سرعة انتقال الماء الى السطح ستتحسن ولذلك فأن سرعة التجفيف تصبح بطيئة وتحسب كالاتي :

$$-\left(\frac{dM}{dt} \right) = \frac{\left(\frac{dM}{dt} \right)_c M_e}{M} (3-53)$$

$$\int_{t_c}^t dt. = - \frac{M_c}{R_c} \int_{M_c}^{M_e} \frac{dM}{M} (3-54)$$

اذا يحسب زمن هذه المرحلة كالاتي

$$t_f = \frac{M_c}{\left(\frac{dM}{dt} \right)_c} \ln \left(\frac{M_c}{M_e} \right) (3-55)$$

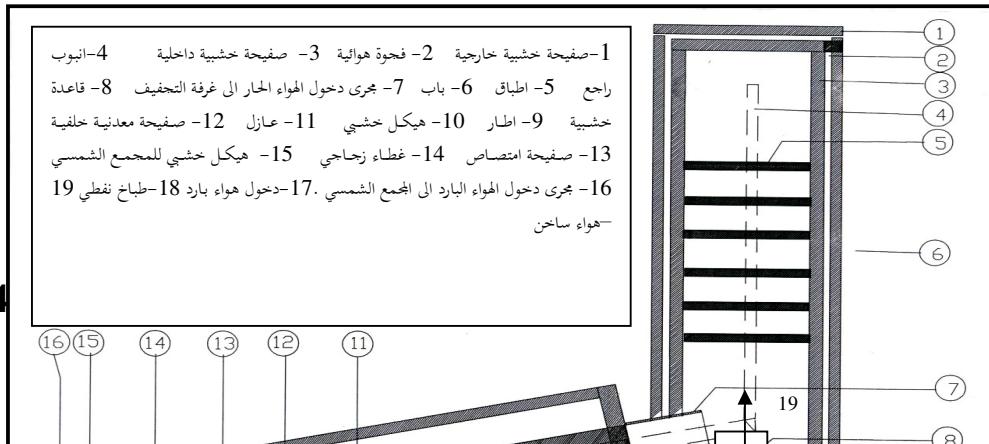
لذا يصبح الزمن الكلي للتجفيف كالاتي:

$$t = t_c + t_f (3-56)$$

يحسب ثابت التجفيف عند المعدل الثابت كالاتي:

$$\int_{M_0}^M \frac{dM}{M - M_c} = - \int_0^{t_c} k_c dt \dots \dots \dots \quad (3-58)$$

ونفس الطريقة بحسب ثابت التحفيز بمعدل متناقص :





شكل(3-59): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي.(مجيد والحلفي،2007)

يلاحظ من الشكل (3-60) ان اعلى طاقة للاشعاع الشمسي الساقط على السطح الافقى والمائل بزاوية 30 درجة في فصل الصيف والشتاء كانت عند الساعة الثانية عشر ظهرا وانخفضت بعدها ، وكانت اعلى في الشتاء وعند الاسطح المائلة

بزاوية 30 درجة منها في الصيف وعند الاسطح الافقية . بلغ معدل طاقة الاشعاع الشمسي في فصل الشتاء للاسطح الافقية والمائلة بزاوية 30 درجة 770 ، 868 واط/م² على التوالي اما في فصل الصيف فقد بلغ 754.4 ، 826.6 واط/م² على التوالي وهذه الطاقة كافية لتشغيل المجف الشمسي .

اما بخصوص درجة الحرارة فيلاحظ من الشكل نفسه ان درجة الحرارة في غرفة التجفيف قد ازدادت مع زيادة ساعات النهار ووصلت الى اقصى قيمة لها عند الساعة الواحدة ظهرا ثم انخفضت في فصلي الصيف والشتاء ولزاويتي الميل 0 و 30 درجة للمجمع الشمسي بوجود وعدم وجود راجع وهذا نتيجة لزيادة طاقة الاشعاع الشمسي ثم انخفضه بعد منتصف النهار . كانت درجة الحرارة في غرفة التجفيف اعلى عند تزويدها بالرطوبة سوف ينتقل الى المجمع الشمسي ويساهم في رفع درجة حرارته ويفقد رطوبته ثم ينتقل الى غرفة التجفيف مره اخرى وتكون الدورة شبه مغلقة .

يلاحظ من جدول (3-4) ان طاقة الاشعاع الشمسي غير كافية لتشغيل المجف الشمسي بسبب ضعف الاشعة الشمسية نتيجة وجود الغيوم والامطار وتم حل هذه المشكلة باستعمال طباخ نفطي بسيط يقوم بتسخين الهواء الموجود داخل انبوب يخترق غرفة التجفيف ومزود بانبوب جانبي لسحب الهواء النظيف والخاري من الغازات ونواتج الاحتراق اذ يتحرك الهواء بصورة طبيعية بداخله وينقل الى داخل غرفة التجفيف من دون ان تدخل معه نواتج الاحتراق وبذلك يضمن عدم تلوث الغذاء به واظهرت النتائج ان معدل درجة الحرارة فيه هو 66.26 ° م وهي درجة مثالية لتجفيف الاغذية

اظهرت النتائج في الشكل (3-61) ان رطوبة كل من السمك واللحم المجففين بالمجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي قد انخفضت مع زيادة زمن التجفيف وكان مقدار الانخفاض في حالة تجفيف اللحم اعلى منها في حالة السمك ، وهذا يعود الى ان سمك شرائح اللحم اقل مما في السمك ف تكون عملية تبخر الماء منه اسرع ، كما انه تطلب زمانا اقل من السمك عند استعمال طريقة التجفيف

المختلفتين

كما نلاحظ من الشكل ان مقدار الانخفاض ببرطوبة كل من السمك واللحm كان اعلى في حالة استعمال المجفف الشمسي منه في حالة استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي ، وهذا يعود الى ان السمك واللحm المجففين بالمجفف الشمسي يكونان معزولان عن المحيط الخارجي ولهذا فان التغير في الظروف البيئية لا يؤثر عليه .

يلاحظ من شكل (3-62) ان معدل التجفيف انخفض معنويًا مع انخفاض المحتوى الرطوي للسمك واللحm المجففين بطريقتي التجفيف المختلفتين ، وهذا بسبب فقدان كثة الماء من الغذاء الى هواء التجفيف وهذا الفقدان يتراقص مع زيادة زمن التجفيف فمثلا في السمك عند بداية التجفيف والى المحتوى الرطوي الحرج الذي هو 1.53 (كغم ماء/كغم مادة جافة) يكون الفقدان في الرطوبة ثابت أي ان معدل التجفيف ثابت ومقداره 1.092 (كغم ماء/كغم مادة جافة). وبعد ذلك بدأ الفقدان المتراقص والذي يسمى بمرحلة التبخر المتراقص .

اظهرت النتائج ان معدل التجفيف عند استعمال المجفف الشمسي كان اعلى منه عند استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي للسمك واللحm . الا انهما يقتربان عند المحتوى الرطوي 1.132 (كغم ماء/كغم مادة جافة). والى النهاية ، اذ خلال هذه الفترة تكون الرطوبة قليلة في الغذاء وتنتقل عن طريق الخاصية الشعرية الى السطح وبسبب وجود بعض المعوقات مثل الاملاح والعناصر المعدنية وغيرها فانها تعرقل نوعا ما حركة الماء الى السطح .

نلاحظ من الشكلين (3-63) و (3-64) اللذين يمثلان تغير الرطوبة الحرة مع زمن التجفيف والذين من خلالهما يمكن معرفة عدد اجزاء المنحنى المتراقص بشكل دقيق . ان مرحلة التبخر المترازي بالنسبة للسمك المجفف بالتجفيف الشمسي الطبيعي تتمثل على شكل خط مستقيم بينما في حالة المجفف الشمسي فانها تقسم الى اربعة اجزاء ويقسم الى ثلاثة اقسام في حالة اللحم وعند كانت طريقي التجفيف . وان لكل جزء من هذه الاجزاء يوجد ثابت تجفيف خاص به و يمكن ملاحظته من جدول (5-3) اذ ان ثابت التجفيف لمرحلة التبخر الثابت هو اعلى منه عند جميع مراحل التبخر المتراقص للسمك واللحm المجففين بطريقتي التجفيف المختلفتين بسبب زيادة سرعة انتقال الرطوبة الى سطح الغذاء وهذا يعني انه في تلك المرحلة يبقى سطح

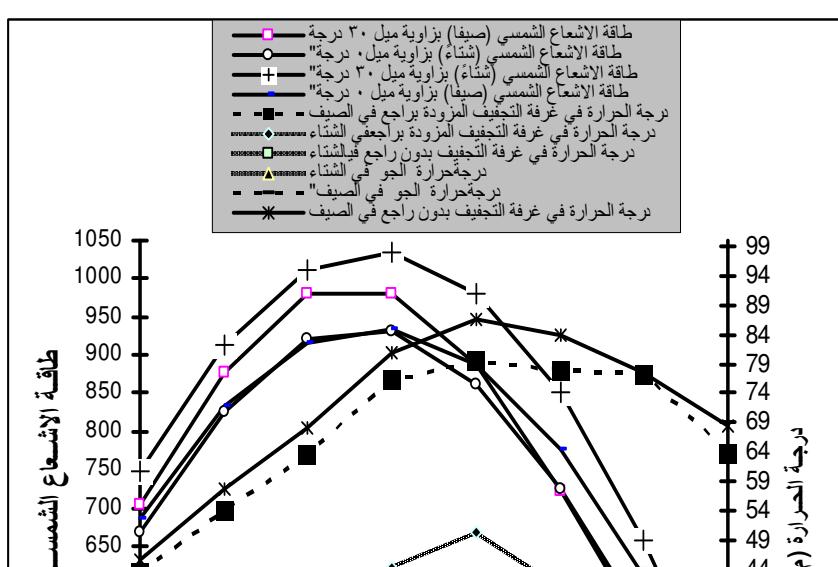
المادة الغذائية مشبع بالرطوبة حيث ينتقل الماء من الداخل إلى السطح ويتم ذلك بازالة بخار الماء المتكون عبر غشاء الهواء المستعمل للتتبخير ويكون في هذه المرحلة مساوياً للرطوبة التي ترتفع من المادة الغذائية إلى السطح وبينما المعدل ويتوقف معدل التبخر على معدل انتقال الحرارة للسطح الذي يتم تجفيفه وإن معدل انتقال الكتلة يوازي معدل انتقال الحرارة بينما في مرحلة التبخر المتناقص انخفاض سرعة انتقال الرطوبة إلى السطح وبينما السطح بالجفاف وإن الوقت اللازم لإجراء هذه المرحلة هو أكبر من زمن التجفيف بمعدل ثابت .

بيّنت النتائج أن ثابت التجفيف لمعدل التجفيف الثابت كان أعلى في حالة المجفف الشمسي منه في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فمثلاً في حالة تجفيف السمك بالمجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي كان ثابت التجفيف للمعدل الثابت هو 0.326 و 0.267 سا^{-1} على التوالي وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة في المجفف الشمسي مما يؤدي إلى سرعة تبخر الرطوبة من الغذاء مقارنة مع التجفيف الشمسي الطبيعي .

وتشير نتائج الجدول إلى أن فترة المعدل المتناقص يكون متعدد المراحل في السمك واللحام المجففين بطريقتي التجفيف المختلفتين ماعدا في حالة السمك المجفف بالتجفيف الشمسي الطبيعي فقد كان معدل التجفيف المتناقص يحدث في فترة واحدة فقط . وثبتت معدل التجفيف لها هو 0.091 سا^{-1}

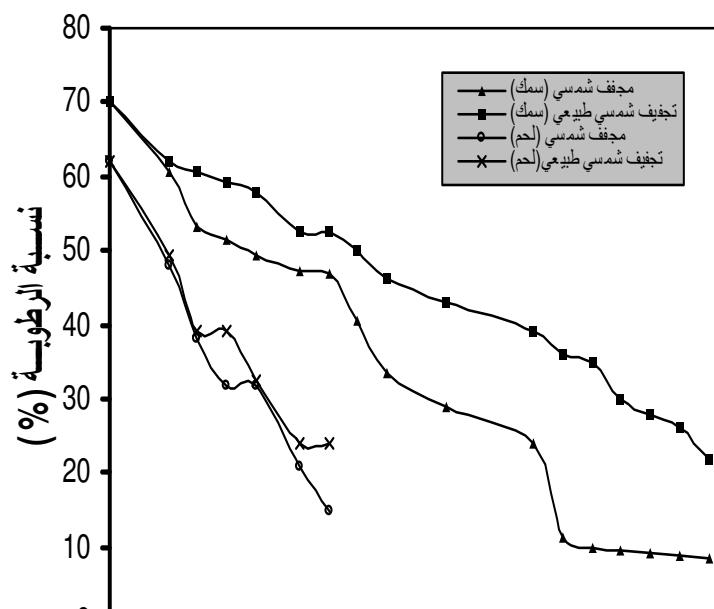
نلاحظ من الشكل (3-62) أن كفاءة التجفيف انخفضت معنويًا مع زيادة زمن التجفيف للسمك واللحام المجففين بطريقتي التجفيف المختلفتين . ونلاحظ أيضًا أنه بعد مرور ساعة من التجفيف وصلت الكفاءة إلى 90 ، 63 % للحم المجفف بالمجف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي على التوالي بينما بعد مرور 8 ساعة وصلت كفاءة التجفيف إلى 3.85 ، 3.85 % على التوالي . بينما في حالة السمك فقد وصلت إلى 62.99 ، 39.76 % على التوالي بعد مرور ساعة ووصلت إلى 1.87 ، 1.37 % بعد مرور 20.5 ساعة إلا أن الاختلافات كانت بينهما غير معنوية بعد مرور 20.5 ساعة . إن سبب نقصان الكفاءة مع زيادة زمن التجفيف يعود إلى بطء انتقال الرطوبة إلى سطح الغذاء مما يتطلب زمناً أكبر وكذلك قلة

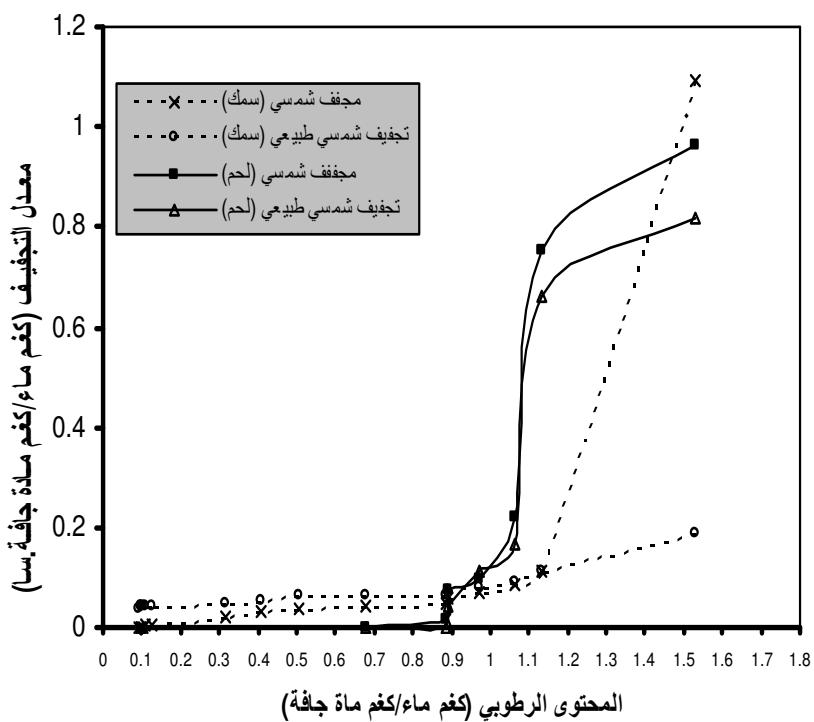
كمية الماء المتاخر بوحدة الزمن . كما تشير النتائج الى ان كفاءة التجفيف باستعمال المجفف الشمسي كانت اعلى منها عند استعمال طريقة التجفيف الشمسي الطبيعي للسمك واللحام ماعدا في حالة السمك فان الاختلافات كانت صغيرة .
 نلاحظ من الشكل (3-65) ان نسبة استرجاع الماء للسمك واللحام كانت اعلى باستعمال المجفف الشمسي منه عند استعمال طريقة التجفيف الشمسي الطبيعي فقد وصلت نسبة استرجاع الماء للحم والسمك المجففين بالمجفف الشمسي الى 1.52 ، 2.75 (كغم ماء/كغم مادة جافة). على التوالي بعد مرور 110 دقيقة بينما في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي كانت 1.28 ، 1.66 (كغم ماء/كغم مادة جافة). على التوالي عند الزمن نفسه . وهذا يعود الى انه في حالة التجفيف الشمسي الطبيعي فان سطح الغذاء يتعرض الى تركيز اشعة الشمس المباشرة فترتفع درجة حرارته بصورة كبيرة في منطقة السطح مما يؤدي الى تصلب الطبقة السطحية وكذلك تغير الظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة ورياح كل هذه العوامل جاءت مجتمعة لتجعل نسبة استرجاع الماء منخفضة بسبب تاثير البروتين سلبا بها وكذلك بقاء كمية من الرطوبة بداخل الغذاء مما يجعل امتصاصه للماء ضعيف.



جدول(3-4): طاقة الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو وغرفة التجفيف في يوم غائم ويوم ممطر عند استعمال طباخ نفطي لإجراء عملية التجفيف

طاقة الاشعاع الشمسي واط /م ²	درجة حرارة غرفة التجفيف °م	درجة حرارة الجو °م	ساعات النهار
40	40	9	9
45	70	10	10
67	70	10	11
90	70	10	12
80	70	10	13
65	70	10	14
81	70	11	15
66.85	66.25	9.875	المعدل





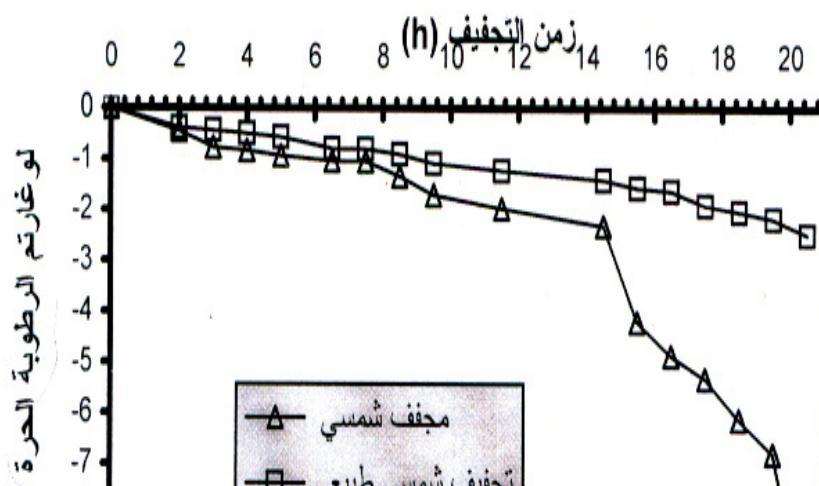
شكل (3-62): العلاقة بين المحتوى الرطوبى ومعدل التجفيف للسمك واللحm المجففين بالمجفف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي

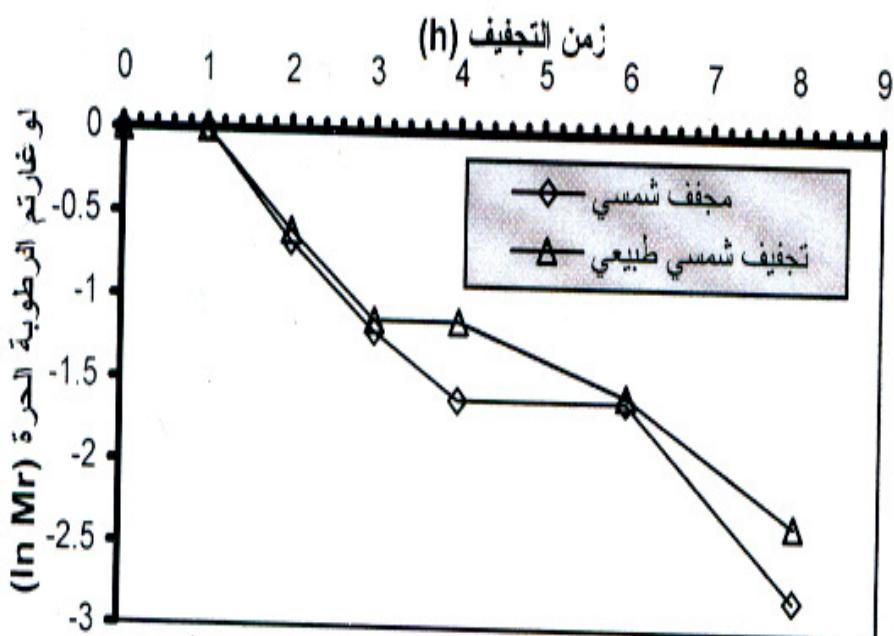
جدول (5-3) : ثابت التجفيف في مرحلتي التبخر الثابت(k_c)

والمتنازل(k_f) للسمك واللحm المجففين بالمجفف الشمسي والتجفيف

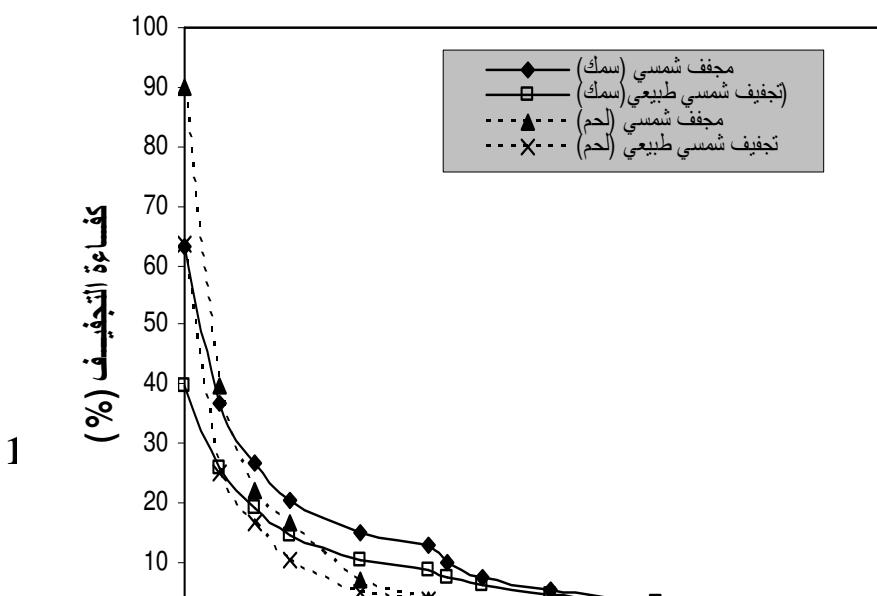
الشمسي الطبيعي.

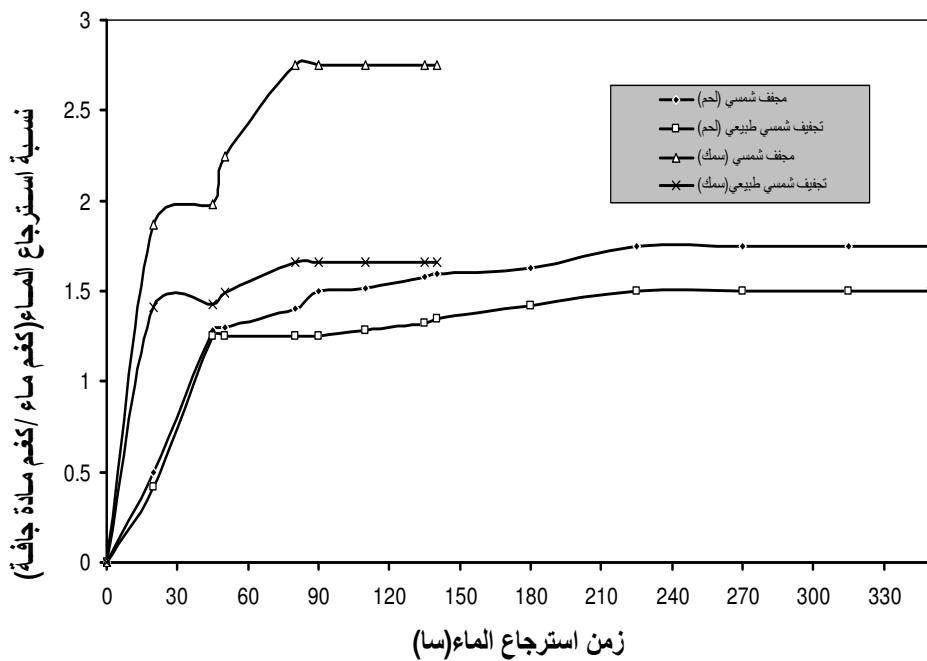
لحم		سمك		ثابت التجفيف
تجفيف شمسي	مجف شمسي	تجفيف شمسي	مجف شمسي	
طبيعي		طبيعي		
0.99876	0.823000	0.267238	0.326474	Kc
0.716083	0.389486	0.091566	0.081437	Kf1
0.352296	0.240044	.....	0.112302	Kf2
0.369867	0.251997	.....	0.23857	Kf3
.....	.....	.....	0.313249867	Kf4





شكل (3-63): العلاقة بين زمن التجفيف ولوغارتم الرطوبة الحرجة
للحوم المجفف بالمجفف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي





شكل (3-65): العلاقة بين زمن استرجاع الماء ونسبة استرجاع الماء للسمك واللحم للمحففين بالمحفف الشمسي والتجفيف الشمسي الطبيعي
تجفيف الذرة الصفراء بالطاقة الشمسية

يلاحظ من الجدول (6-3) إن طاقة الإشعاع الشمسي قد ازدادت مع زيادة ساعات النهار وصولاً إلى الساعة الثانية عشر ظهراً وبلغت $923.69 \text{ واط}/\text{م}^2$ ثم انخفضت بعد ذلك وهذا يعود إلى دوران الأرض حول محورها ونتيجة لذلك تتغير الزوايا الشمسية *Solar angles* مع ساعات النهار، التي تشمل الزاوية السمتية *Zenith angle* وزاوية الارتفاع *altitude angle* وزاوية السمت *azimuth angle* وتصل قيمة الأخيرة إلى الصفر عند

منتصف النهار والى قيمتها العظمى عند الشروق والغروب وكذلك تغير زاوية الساعة مع ساعات النهار . *hour angle*

إن درجة الحرارة في غرفة التجفيف قد ازدادت مع زيادة ساعات النهار ووصلت إلى أقصى قيمة لها عند الساعة الواحدة ظهراً وبلغت 56°M ثم انخفضت بعد ذلك خلال شهر كانون الثاني . ويعزى هذا إلى استمرار انتقال الحرارة إلى غرفة التجفيف المعزولة عن المحيط الخارجي وارتفاع درجة الحرارة بداخلها عند الساعة الواحدة بعد الظهر نتيجة لبقاء صفيحة الامتصاص ساخنة عند هذه الساعة إذ تزداد درجة حرارة غرفة التجفيف بسبب حدوث حالة التجميغ الحراري فيها . يوجد تأثير لدرجة حرارة الجو وطاقة الإشعاع الشمسي على درجة الحرارة في غرفة التجفيف للمجفف الشمسي وكما مبين في العلاقة التجريبية ذات الانحدار المتعدد الآتية

$$T_{oven} = -27.84 + 3.68 \times 10^{-2} I_T + 2.32 T_a$$

ونلاحظ من الجدول أيضاً إن كفاءة التجفيف للذرة الصفراء بلغت 70% عند استعمال المجفف الشمسي ، بينما بلغت 35% عند استعمال طريقة التجفيف الشمسي الطبيعي وهذا يعود إلى ارتفاع درجة حرارة غرفة التجفيف والقدرة على تحويل طاقة الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية باستخدام 0.5m^2 فقط بينما يتطلب تجفيف نفس الكمية بطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي مساحة قدرها 1m^2 فيأخذ الغذاء مساحة أكبر لعرض تعريضه إلى ضوء الشمس بينما في المجفف الشمسي وضع الإطباق يكون بصورة عمودية وبذلك فان الهواء الساخن يمر عليها ويخرج الرطوبة منها وكذلك فان سرعة إزالة الرطوبة من الغذاء بواسطة المجفف الشمسي هي أكبر منها عند استخدام التجفيف الشمسي الطبيعي وكل هذه العوامل جاءت مجتمعة لتجعل كفاءة التجفيف في المجفف الشمسي عالية

إما بالنسبة إلى رطوبة الذرة الصفراء والنشاط المائي لها الموضحة في جدول (7) (3) إن كل من المحتوى الرطوي والنشاط المائي قد انخفض مع زيادة ساعات النهار وكان مقدار الانخفاض أعلى عند استعمال المجفف الشمسي منه عند استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي ، إذ ان المحتوى الرطوي للذرة الصفراء وصل إلى 3% عند الساعة 15 عند استعمال المجفف الشمسي بينما وصلت إلى 17.42% عند الزمن نفسه باستعمال التجفيف الشمسي الطبيعي . وهذا بسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل المجفف الشمسي مما

يعمل على إزالة الرطوبة من الذرة الصفراء وبالتالي يؤدي إلى انخفاض النشاط المائي فيها بشكل أكبر من استعمال التجفيف الشمسي الطبيعي .

ان لدرجة الحرارة في المجفف الشمسي تأثير مباشر على معدل انخفاض المحتوى الرطوي ودرجة الحرارة تتأثر بصورة أساسية بطاقة الإشعاع الشمسي ، لذلك تم ايجاد علاقة الارتباط المتعدد بينهم والمعادلة التالية توضح ذلك

$$w = -3.4 \times 10^{-2} + 1.08 \times 10^{-3} I_T - 1.48 \times 10^{-2} T_{oven}$$

وكان الارتباط معنوي وقيمة معامل الارتباط 0.90.

إن الحرارة النوعية للذرة الصفراء قد انخفضت مع زيادة ساعات النهار وكان مقدار الانخفاض أعلى عند استعمال المجفف الشمسي منه عند استعمال طريقة التجفيف الشمسي الطبيعي . وهذا بسبب انخفاض المحتوى الرطوي للذرة الصفراء مع ساعات النهار وبلغ معدل الحرارة النوعية 2438.73 2878.98 جول / كغم م ° عند استعمال المجفف الشمسي وطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي على التوالي . من خلال العلاقة بين الحرارة النوعية والمحتوى الرطوي للذرة الصفراء تم الحصول على المعادلة التجريبية الآتية: $w = 6082 C_p + 1431.59$ وكان الارتباط معنوي وقيمة معامل الارتباط 0.998. ومن هذه المعادلة يمكن معرفة قيمة الحرارة النوعية للذرة الصفراء عند أي محتوى رطوي.

جدول (3-6): طاقة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة في غرفة التجفيف (المجفف الشمسي) خلال ساعات النهار.

كفاءة التجفيف (%)		طاقة الإشعاع الشمسي (واط / م²)	درجة الحرارة ° م		الזמן
المجفف الشمسي	التجفيف الشمسي		المجفف الشمسي	الجو	

		ال الطبيعي				
70	35	602.42	19	11	9	
		763.00	40	17	10	
		843.34	47	19	11	
		923.69	51	20	12	
		883.35	56	20	13	
		763.00	45	21	14	
		522.00	35	18	15	
		757.28	41.85	18	المعدل	
		11.2	2.45	1.32	R.L.S.D	

جدول (3-7) : المحتوى الرطوي والنشاط المائي والحرارة النوعية للذرة الصفراء المجففة بالمجف الشمسي وطريقة التجفيف الشمسي الطبيعي خلال ساعات .

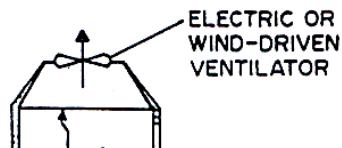
الزمن	المجف	التجفيف	الحرارة النوعية (جول/كم ° م)	النشاط المائي	المحتوى الرطوي %
	الشمسي	الشمسي	الشمسي	الشمسي	الشمسي

	ال الطبيعي		ال الطبيعي		ال الطبيعي	
3327.70	3327.70	0.3016	0.3016	30.16	30.16	9
3166.52	3206.61	0.2823	0.2872	28.23	28.72	10
2885.72	3114.17	0.2460	0.27580	24.60	27.58	11
2523.63	3006.08	0.1943	0.2620	19.34	26.20	12
1798.59	2563.88	0.0624	0.1996	6.24	19.96	13
1719.54	2531.41	0.0455	0.1996	4.55	19.96	14
1649.46	2403.02	0.0300	0.1742	3.00	17.42	15
2438.73	2878.98	0.1660	0.2428	16.58	24.28	المعدل
14.23	15.67	0.0101	0.0132	1.98	2.64	R.L.S.D

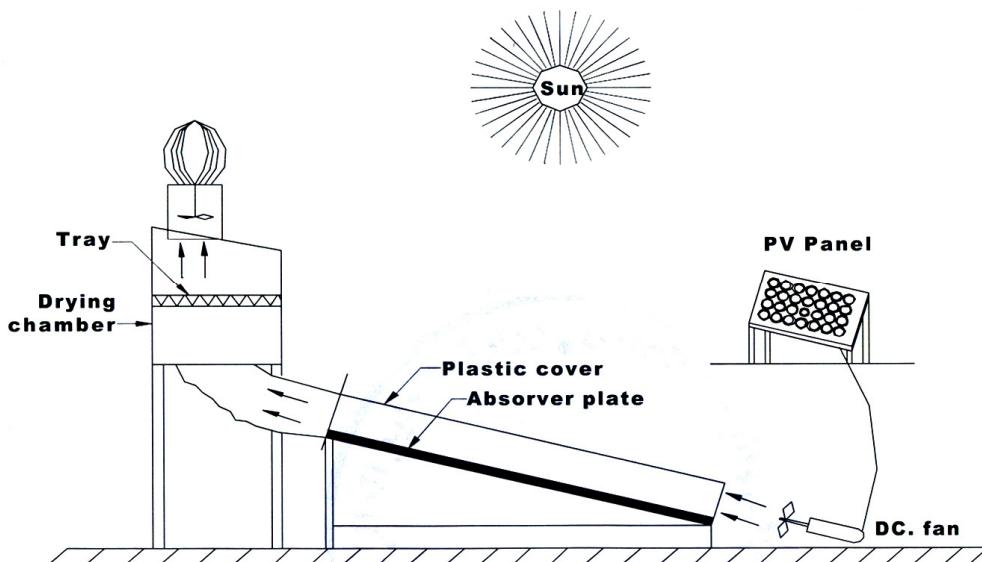
مجففات شمسية ذات حمل قسري Forced Convection Solar Dryers

هذه المجففات تكون على نوعين هما :

- أ-المجففات الشمسية المباشرة : وهي تشبه مكونات المجففات الطبيعية المباشرة لكنها تحتوي على مفرغة للهواء تقوم بسحب الهواء المار على الاغذية الى الخارج.
- ب-المجففات الشمسية غير المباشرة : وهي تشبه مكونات المجففات الشمسية غير المباشرة ذات الجريان الطبيعي ، ولكنها تحتوي على مروحة طاردة عن المركز تستخدم لدفع الهواء عبر المجمع الشمسي الى غرفة التجفيف شكل (3-66).

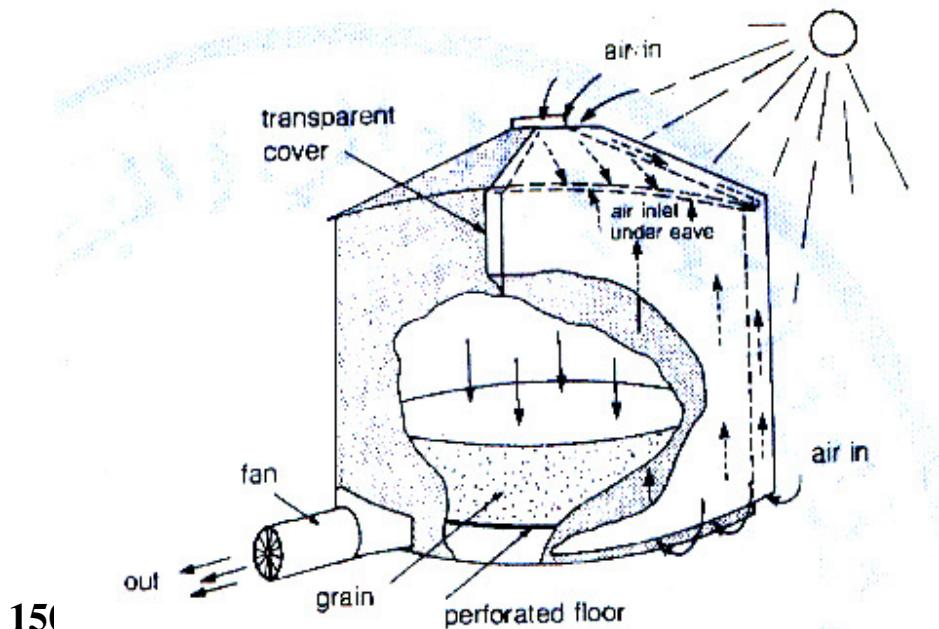


او استخدام نظام تهوية دوار يعمل بطاقة الرياح لغرض تسهيل جريان الهواء في المجفف و خروجه منه وهو محمل بالرطوبة وتوضع في اعلى غرفة التجفيف واستعملت مروحة لدفع الهواء في المجمع الشمسي وتوضع في مقدمته و تعمل بفولتية مقدارها 12 فولت ذات تيار مباشر وقدرتها 20 واط تأخذ طاقتها الكهربائية من خلية شمسية . شكل (3-67).



شكل (3-67): مجفف شمسي قسري غير مباشر. Saleh & Sarkar, 2002.

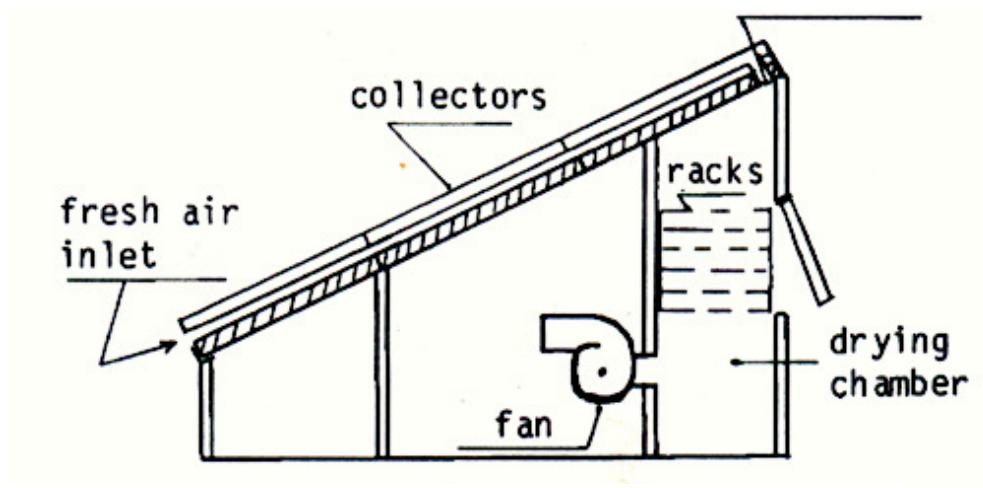
هناك تصميم اخر شكل (3-68) وهو ان المجمع الشمسي يوضع على حوض الحبوب وجدران ذلك الحوض مطلية باللون الاسود وهذه المنظومة يكون جريان الهواء فيها قليل بالرغم من وجود مروحة لتحريكه بسبب صغر مساحة المجمع الشمسي ووقت التجفيف يستغرق من 2 - 3 اسبوع وهذا النوع كفاءته منخفضة.



151

شكل (3-68):المجمع الشمسي مدمج مع حوض الحبوب.(Albert,1986).

هناك مجفف آخر من النوع القسري شكل (3-69) كبير الحجم يستخدم لتجفيف الأسماك مساحة مجمعه الشمسي 14 m^2 يحتوي على مروحتين وغرفة تجفيف حجمها 2 m^3 وسعته 150 كغم من السمك الطازج.

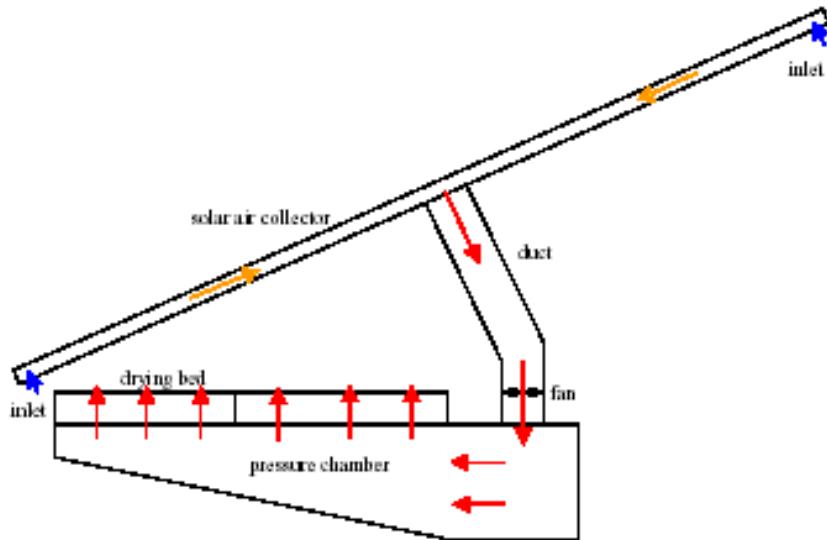


شكل (3-69): مجفف شمسي قسري غير مباشر لتجفيف السمك .

هناك تصميم آخر للمجفف الشمسي القسري شكل (3-70) و (3-71) سعاته 100 كغم ومساحة مجمعه الشمسي 4.77 m^2 مغطاة بطبقة من البولي كاربونيت *UV - Stabilized Poly Carbonate* على صفيحة الامتصاص السوداء ، يدخل الهواء الى المجمع الشمسي من نهايته ويخرج من منتصفه والهدف من ذلك هو لتقليل الفقد بالضغط عبر المجمع الشمسي. تستعمل المروحة في هذا التصميم لسحب الهواء من المجمع الشمسي ودفعه الى غرفة التجفيف ويجب ان تكون المروحة رخيصة ذات كفاءة عالية وتحتاج الى قدرة قليلة وتعطي معدل جريان كبير للهواء ، هنا يجب ان تكون سرعة الهواء عالية في غرفة التجفيف المملوء بالغذاء الا ان سرعتها تصل الى 0.06 m / s عند معدل تصريف مقداره $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ وهذا اقل من السرعة المثالية التي تتراوح بين 0.3 -

0.7 م/ثا . هذه المراوح تتراوح فولتيتها بين 6 – 15 فولت وقدرتها 12 واط. ان الواح PV المستعملة هي من نوع *Phoenix Gold* ومعدل قدرتها 14 واط.

غرفة التجفيف تحتوي على ستة اطباق عميقة تستوعب الواحدة منها 20 كغم من الذرة الصفراء شكل (3-72) كما انها مزودة بحصى وزنه 150 كغم موضوع على مشبك معدني اسفل الاطباق يستخدم للخزن الحراري شكل (3-73)، حيث يمر الهواء اولا على الحصى ويكون معامل الانتقال الحراري بينه وبين الحصى كبير وبعد ذلك ينتقل الى الاطباق لغرض التجفيف .



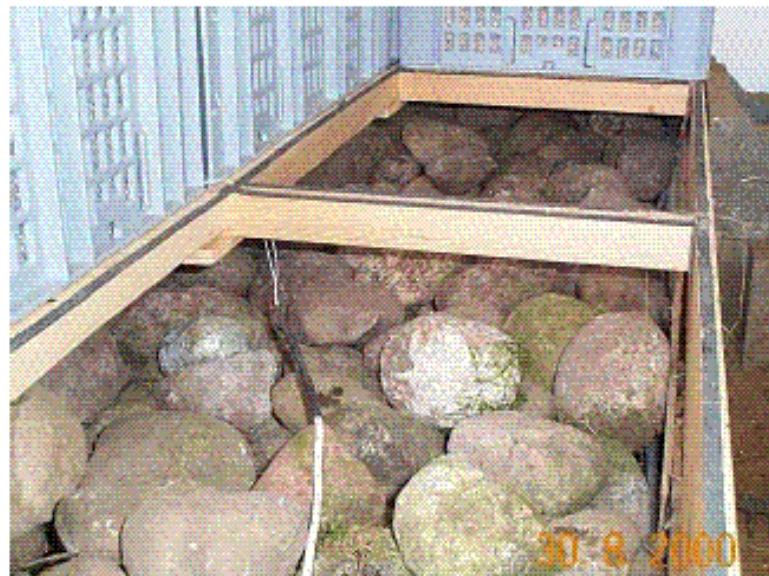
شكل (3-70): مجفف شمسي قسري غير مباشر.



شكل (3-71): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي القسري الغير مباشر.

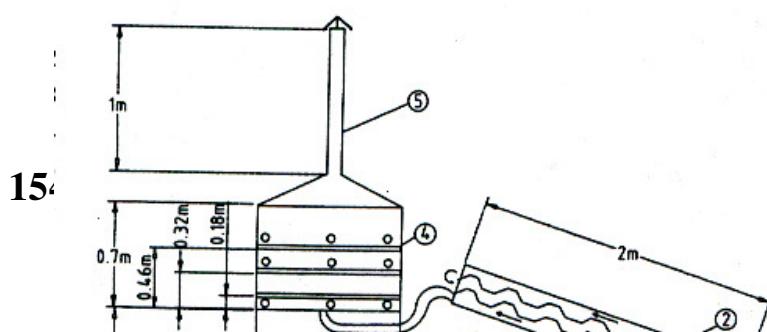


شكل (3-72): اطباق المجفف الشمسي القسري الغير مباشر.



شكل (3-73): حصى الخزن الحراري.

صمم Vlachos واخرون في عام 2002 محفف شمسي قسري غير مباشر³⁻⁷⁴ تكون من غرفة تجفيف مزودة بمدخنة شمسية والأخيرة تتكون من جزئين هما قاعدة بشكل شبه منحرف موضوع في أعلى غرفة التجفيف متصلة بانبوب ضيق ابعاده $0.12 * 0.73$ م والجانب الامامي منه هو زجاج سمكه 3 ملم ، والمدخنة معزولة من الخلف والجوانب. وضع غطاء المنيومي على شكل حرف V عرضه 34 سم في أعلى المدخنة ليحمي المحفف من الامطار والمواد الغريبة ، يوجد خلوص بين المدخنة والغطاء مقداره 19 سم ليسمح للهواء المحمل بالرطوبة بالخروج من خلاله وهذه المدخنة يمكن تغيير زاوية ميلها من 90 درجة الى 30 درجة.



لتصميم المدخنة في المجففات الشمسية القسرية او ذات الجريان الطبيعي تتبع

الخطوات الآتية والمتبعة من قبل Vlachos واخرون في 2002 :

$$F_R [I_T (\tau \alpha)_e - U_{Lch} (T_{och} - T_{od})] = V_a \rho_a C p_a / (S * H) (T_{och} - T_{od}) \dots \dots (3-61)$$

T_{och} : درجة حرارة الهواء الخارج من المدخنة.

T_{od} : درجة حرارة الهواء الخارج من المgef.

S : عرض المدخنة (م)

H : ارتفاع المدخنة (م).

بتطبيق معادلة العزم على المدخنة :

$$\Delta P = H (\rho_a - \rho_{ch}) g \frac{B}{760} - \tau_w [2(S + P)H / (S * P)] \dots \dots \dots \dots (3-62)$$

g : التسجيل الارضي (م\ثا²)

ΔP : التغير بالضغط (نيوتن\م²)

ρ_a : معدل كثافة الهواء.

ρ_{ch} : معدل كثافة الهواء في المدخنة

B : الضغط البارومترى (ملم زئبق)

τ_w : اجهاد القص على الهواء الملمس لسطح المدخنة (نيوتن\م²)

u_{ch} : معدل سرعة الهواء في المدخنة (م/ثا)

f_{ch} : معامل الاحتكاك ويحسب:

لِلْجَرِيَانِ الْأَنْسِيَابِيِّ

$$f_{ch} = \frac{64}{R_e} \dots \dots \dots \quad (3-64)$$

بينما للجريان المضطرب

$$f_{ch} = \frac{0.079}{R_e^{0.25}} \dots \dots \dots \quad (3-65)$$

پس ب کالاتی:

$$R_e = \frac{D_h \rho_{ch} u_{ch}}{\mu_{ch}} \dots \dots \dots \quad (3-66)$$

D_h : معدل القطر الهايدروليكي للمدخنة ويحسب كالتالي:

$$D_h = \frac{2S * P}{S + P} \dots \dots \dots \quad (3-67)$$

μ_{ch} : معدل لزوجة الهواء في المدخنة.

عندما f_{ch} تساوي 0.003 للجريان المضطرب فان معدل الجريان الحجمي للهواء هو :

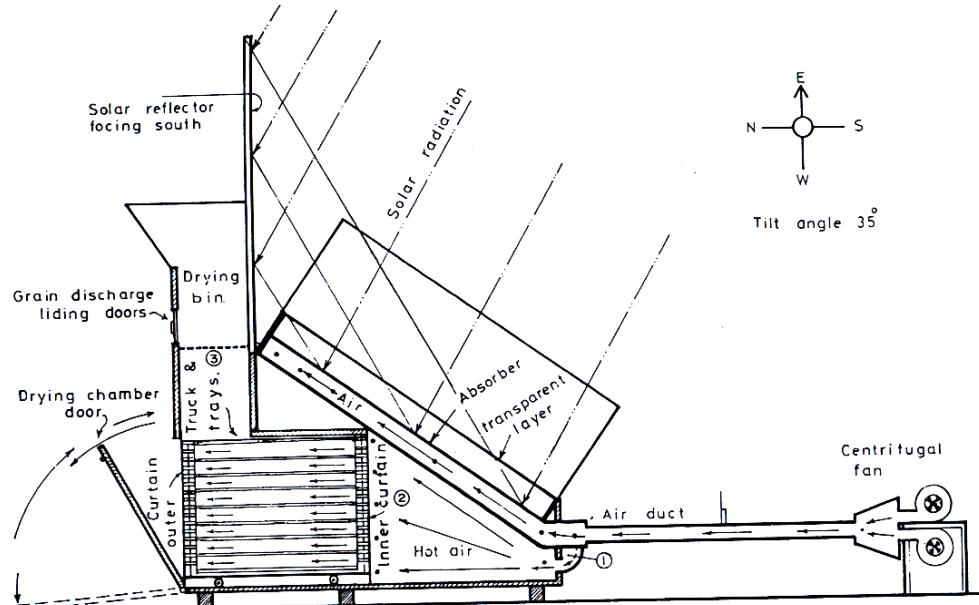
$$V_a = 0.113\pi D_n^2 \left[\frac{D_n g}{\rho_a} (T_{ch} - T_{am}) \right] \dots \dots \dots \quad (3-68)$$

T_{ch} : معدل درجة الحرارة في المدخنة (م°) وتحسب كالاتي

$$T_{ch} = \frac{(T_{do} - T_{och})}{2} (3-69)$$

ان صندوق الخزن الحراري ابعاده الخارجية $1.3 * 1 * 0.5$ م ومزود بغاز عالي درانه الداخلية . وهناك أنبوب مرن يخرج من المجمع الشمسي ويدخل الى الصندوق ويتصل عند قاعدة غرفة التجفيف ، هذا الصندوق يوجد بداخله 25 وعاء معدني سعة 5 لتر مملوءة بالماء ومطلية باللون الاسود لغرض خزن الحرارة. المجمع الشمسي في هذا المجفف هو بشكل انبيب متوازيه ابعادها $2 * 1 * 0.27$ م ومائل بزاوية 37 درجة . صفيحة الامتصاص تكون من قطعتين مصلعتين من الالمنيوم سمكها 1.25 ملم موضوعة واحدة فوق الاخرى والمسافة بينهما 50 ملم وزجاج سمكه 3 ملم مزود بمضخة طاردة عن المركز متصلة بقاعدة المجمع الشمسي عن طريق انبواب بلاستيكيان من النوع المرن.

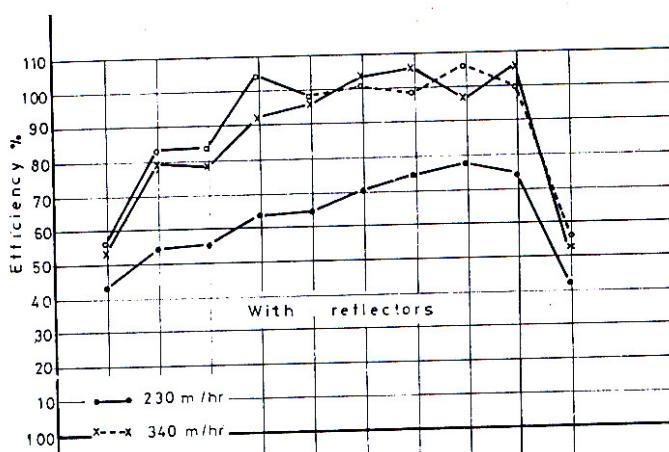
هناك تصميم اخر لمجفف شمسي شكل (3-75) يتكون من مجمع شمسي ذي صفيحة امتصاص مستوية ومزود بعاكسات مثبتة على المجمع بزاوية مقدارها 35 درجة وعدها اثنان موضوعتان على جانبيه . مساحة سطح امتصاص الطاقة الشمسية هو 2.43^2 م وطولها 4.16 م اما الجزء الاخر فهو غرفة التجفيف والهواء حيث وضعت غرفة التجفيف تحت المجمع الشمسي ومعزولة بمادة Styrofoam ابعادها $1*1*1$ م . ان الهواء المسخن الخارج من المجمع الشمسي يدخل مباشرة الى غرفة التجفيف . موضع حوض الحبوب يكون فوق غرفة التجفيف ويكون من اربعة جدران وباباً منزلاقاً في الجانب الشمالي من المجفف.



شكل (3-76): مجفف شمسي قسري غير مباشر للحبوب ذو عاكسات. (Sabah, 1986)

يلاحظ من شكل (3-77) ان استخدام العاكسات ادى الى زيادة الاستفادة من الطاقة بتصورة معنوية ووفقا لذلك ازدادت الكفاءة ودرجة حرارة الهواء اذ ان معدل كفاءة المجمع الشمسي ازدادت باستخدام العاكسات من 46.1 - 63.5 % ومن 340 - 64.9 % و 89.3 - 91.7 % عند معدلات جريان الهواء 230 و 400 م³ اسا على الترتيب.

ان الاداء الحراري لغرفة التجفيف والخوض يتاثر بمعدل فقدان الحراري من غرفة التجفيف الى الجو بواسطة توزيع درجة حرارة الهواء عند مدخل غرفة التجفيف والى الخوض وكذلك درجة حرارة هواء التجفيف بالإضافة الى كمية الحرارة الموجودة في الهواء.



كفاءة غرفة التجفيف تحسب من المعادلة الآتية:

كفاءة غرفة التجفيف $\eta_{d.ch}$

$T_{in,ch}$: درجة حرارة الهواء الداخلة الى غرفة التجفيف.

T_{out} : درجة حرارة الهواء الخارجة من غرفة التجفيف.

وتحسب كفاءة حوض تجفيف الحبوب من المعادلة الآتية:

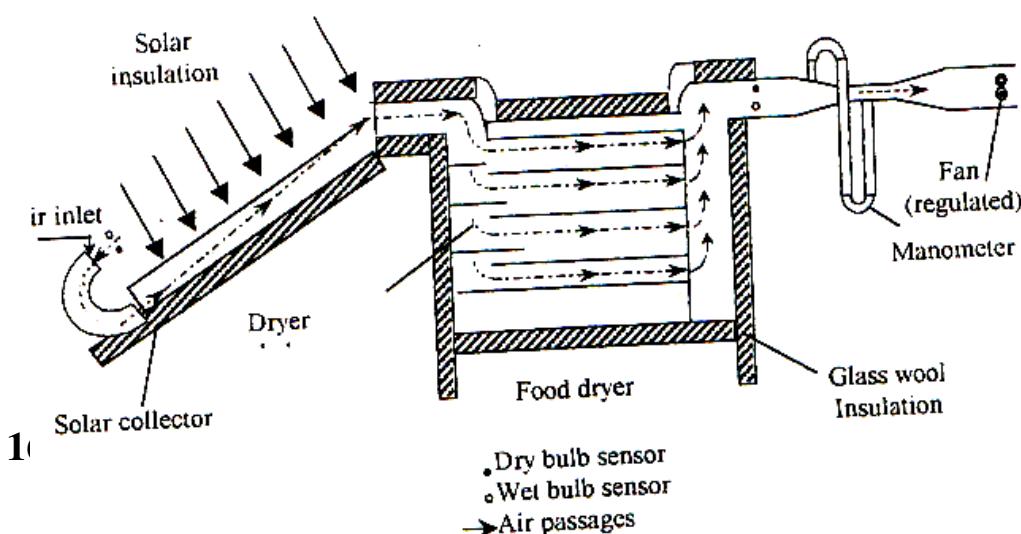
اما الكفاءة الكلية للمنظومة فتحسب من المعادلة الآتية:

المجف الشمسي ذو النفق *Solar Tunnel Dryer*

هذا المجف طوله 18 م وعرضه 2 م ومساحة مجموعه الشمسي 16 m^2 ومساحة التجفيف 20 m^2 ويحتوي على خمس مراوح لسحب الهواء من المجف الشمسي الى الخارج قدرة كل مروحة 14 واط وتصريفها 130 m^3/min ا وتعمل بتيار مباشر DC ويوجد ثلاثة اعمدة PV شمسية لتوليد التيار الكهربائي.

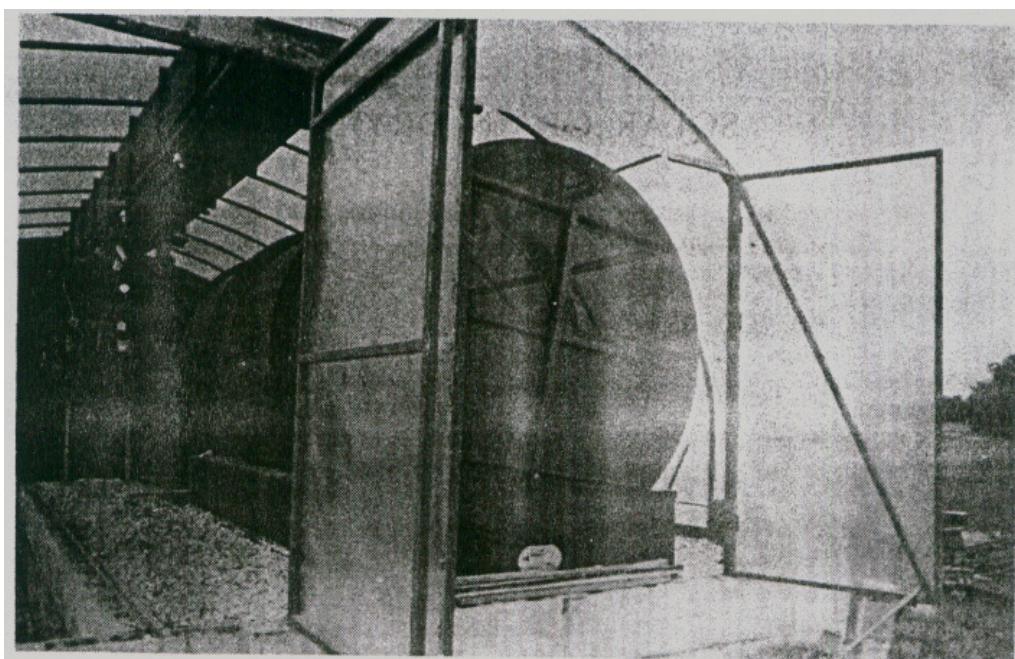
تم عزل المجف بمادة الصوف الزجاجي. يوضع المجف على اربع اعمد من الطابوق ويغطى النفق والمجمع الشمسي بغطاء من نوع UV – *Stabilised Polythene* سمكه 0.2 ملم والمجمع مطلي بطلاء اسود لكي يمتص اشعة الشمس ، وتوضع الاغذية على اطباق متقدمة في غرفة التجفيف.

هناك نوع من المجففات القسرية يتالف من مجمع شمسي عرضه 0.8 م وطوله 1.74 م شكل (3-78) وصفيحة الامتصاص فيه مضلعة ومكونة 12 قناة مثلاة الشكل وهذا التضليل يعمل على زيادة امتصاص طاقة الاشعاع الشمسي بسبب زيادة المساحة السطحية له لذلك فان الكفاءة الحرارية تزداد بمقدار 9 - 15 % مقارنة مع صفيحة الامتصاص المستوية ، هذه الصفيحة ذات لون اسود غير لامع امتصاصيتها 0.87 ومجطأة بصفية زجاجية سمكتها 4 ملم وبينهما فجوة هوائية مقدارها 0.03 م الجزء الاسفل من المجمع الشمسي تم عزله بمادة الصوف الزجاجي والموصولة الحرارية له 0.034 واطا م 0.20 م وبسمك 5 سم غرفة التجفيف ابعادها $0.67 * 0.53 * 1.15 \text{ m}$ ومزودة بمروحة كهربائية قدرتها 100 واط وذات سرع متغيرة.



شكل (3-78): تصميم آخر لمجف شمسي قسري (Sultan et al.).

هناك مجفف شمسي للحبوب شكل (3-79) يتكون من غطاء مصنوع من الفاييركلاس المموج الشفاف يشبه الخيمة عرضه 7.7 م وطوله 8.5 م وهو يشبه البيت الزجاجي من حيث نقل الاشعاع الشمسي خلاله وقد بني على قاعدة كونكريتية مستوية يوجد بداخل هذه الغرفة اسطوانتين وهما عبارة عن غرفتا تجفيف قطر الواحدة 2.2 م وطولها 4.4 م وطاقتها الاستيعابية تتراوح بين 3 - 4 طن من الفول السوداني . خلال عملية التجفيف فان الاسطوانتين تدوران بشكل دوري (دورتين في الساعة) لغرض تجسس التجفيف فيما وهنالك مروحة داخل الغرفة تقوم بسحب الهواء من المحيط الخارجي الى داخل الغرفة . السطح الاسود لهاتين الاسطوانتين متقدب بنسبة 50% للسماح للهواء بالدخول اليهما من الغرفة وهو اما ان يخرج الى الخارج او يبقى يدور فيما.



شكل (3-79) : مجفف شمسي للحبوب

التحليل الحراري لهذا المجفف

يمكن اجراء التحليل بخطوتين هما ، اولا : تحليل انتقال الحرارة المقترن مع تسخين الهواء في الغرفة كعلامة للطاقة الشمسية ، وثانيا : انتقال الحرارة والكتلة المقترن بالتجفيف الناتج من فقد الرطوبة الى الهواء الساخن الذي يجري فوق الفول السوداني .

1-تحليل تسخين الهواء *The Analysis of Heating of Air*

الهدف من التحليل هو ان المساحة السطحية لغطاء الفايبر كلاس فسمت الى عدة مقاطع مستوية يتضمن سطوح نهائية عددها اثنان وخمسة مناطق *Quenset shaped surface* . قسمت مساحة الارض الى اربعة مناطق والاسطوانة الى ثلاثة مقاطع . معادلات توازن الطاقة اعتمدت في الحالة المستقرة لكل منطقة من تلك المقاطع في البيت البلاستيكي وهذه قد لخصت في الاتي:

سطح الغطاء المصنوع من الفايبركلاس

$$\left[h_{ocj} + h_{ij} + h_{orj} + \sum_{K=1}^N h_{rjk} \right] \theta_j - \sum_{K=1}^N h_{rjk} \theta_k - \frac{h_{ij\theta_a}}{2} = q_j + R_j \dots (3-73)$$

حيث j تساوي 1، 2، ..., 7 وهي العدد الكلي للاجزاء المقسمة من سطح الغطاء البلاستيكي . الاسطوانة والسطح الارضي

$$\left[h_{ij} + \sum_{K=1}^N h_{rjk} \right] \theta_j - \sum_{K=1}^N h_{rjk} \theta_k - \frac{h_{ij\theta_a}}{2} = q_j \dots \dots \dots (3-74)$$

حيث j يساوي 1 ، $M+1$ ، N ،..... $M+2$ وهي عدد اجزاء سطوح الارض والاسطوانة.

كتلة الهواء في الغرفة

$$\sum_{j=1}^N h_{ij} A_j \theta_j - \left[\frac{1}{2} \sum h_{ij} A_j + V_a \rho c_p \right] \theta_a = 0 \dots \dots \dots (3-75)$$

اختلاف معاملات انتقال الحرارة يعتمد على طبيعة انتقال الحرارة مثل الاشعاع والحمل وهذا يمكن الحصول عليه من العمل القياسي.

فيض اشعاع الطاقة الشمسية q_j يمتص بواسطة أي منطقة j ولها زاوية ميل s وتحسب من المعادلة الآتية

$$q_j \left[I_D \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} + I_d \frac{1 + \cos s}{2} + (I_D + I_d) \frac{1 - \cos s}{2} \rho_a \right] \alpha_j \dots \dots \dots (3-76)$$

اشعة السماء ذات الموجة الطويلة يمكن ان تحدد من :

$$R_J \cong h_{orj} (T_\infty - T_{sky}) \dots \dots \dots (3-77)$$

تحليل انتقال الكتلة *The Mass Transfer Analysis*

الهواء الساخن الذي ينتقل من الغرفة الى الغذاء في الاسطوانة فان رطوبة الغذاء سوف تنتقل الى الهواء. الهدف من هذا التحليل هو للتبؤ بمعدل الرطوبة المفقودة من الغذاء الى الهواء بالإضافة الى درجة حرارة الهواء الذي يغادر الاسطوانة ، تتضمن المعادلات معادلة موازنة الكتلة الاجمالية للرطوبة المفقودة من الغذاء وتعطى بالمعادلة الآتية:

$$-m_p \frac{dM(t)}{dt} = m_a (W_e - W_o) \dots \dots \dots (3-78)$$

معادلة فقد البخار بالانتشار خلال الغذاء الى الهواء هي كالتالي:

$$\frac{M(t) - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} = \sum_{n=1}^{\alpha} \frac{4}{\gamma_n^2} \exp \left(-\frac{k_1 \gamma_n^2}{\pi^2} t \right) \dots \dots \dots (3-79)$$

حيث γ_n هي قيمة eigen و k_1 هو معامل يتم تحديده تجريبيا ويعرف:

$$k_1 = \frac{D\pi^2}{q^2} \dots \dots \dots \quad (3-80)$$

حيث D معامل الانتشار و a البعد المميز.

اذا افترض ان عملية التجفيف ادبياتيكية فان الانثالبيه ودرجة الحرارة الرطبة تبقى ثابته خلال عملية التجفيف اي ان :

$$H_o = H_e$$

الانثالبي للهواء الرطب يمكن ان يعبر عنه في المعادلة الآتية:

$$H = C_{pq}T + W(C_{pw}T + L_w) \dots \dots \dots (3-81)$$

$$C_{pa}T_o + W_o(C_{pw}T_o + L_w) = C_{pa}T_e + W_e(C_{pw}T_e + L_w) \dots\dots\dots(3-82)$$

$$\text{ المساحة م}^2 : A$$

H: الانثالي (جاكغم)

h_i و h_{oc} : معامل انتقال الحرارة في الداخل والسطح الخارجي على الترتيب
 (واطان².م°)

k_r : معامل انتقال الحرارة بالأشعاع للسطح الداخلي والخارجي على الترتيب ($\text{واط} \cdot \text{م}^{-2} \cdot \text{ Kelvin}^{-1}$)

I_d و I_D : الاشعاع الشمسي المباشر وال منتشر على الترتيب (واطان²)

L: الحرارة الكامنة للت BX (كج/كغم)

m_a : معدل جريان الهواء (كغم/اسا)

m_p : الوزن الكلي للحبوب في الاسطوانة (كغم)

T_e و T_o : درجة حرارة الهواء عند الخول وعند الخروج من الاسطوانة. (°م)

درجة حرارة الجو. (°م)

θ : الفرق بدرجات الحرارة.

S: زاوية الميل (درجة)

W_e و W_o : الرطوبة النوعية للهواء عند الدخول والخروج من الاسطوانة

(كغم/كغم)

V_a : معدل جريان الهواء ($m^3/\text{س}$)

α : الامتصاصية

ρ_a : الانعكاسية الأرضية

a' : هواء

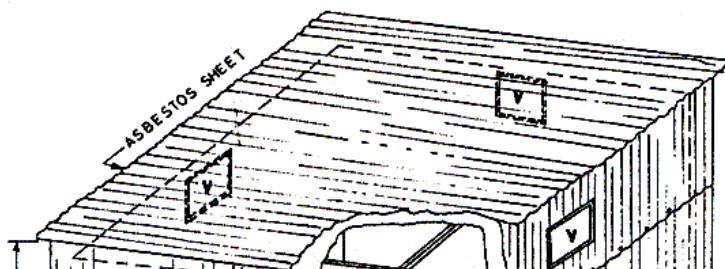
w : بخار الماء

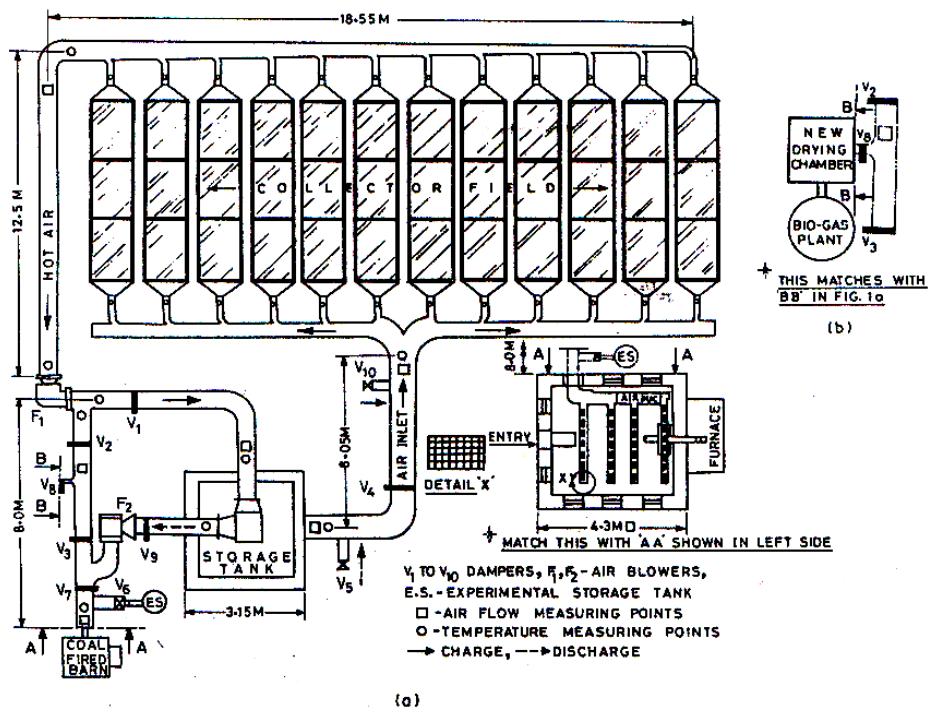
لعرض تقليل فقدان الحراري من غرفة التجفيف التقليدية ، هناك نوع جديد

لغرفة التجفيف حجمها $85 m^3$ اذ تم تصميمها وتصنيعها من قبل Raju في عام 1989 والمبنية في شكل (3-80) جدران هذه الغرفة صنعت من صفائح مزدوجة من الاسبستوس وبينهما فجوة مقدارها 6 سم وقنوات مصنوعة من صفائح رقيقة من الحديد لتكسيبه المتانة ، وهذه الصفائح المضلعة الهدف منها هو لمقاومة سرعة الرياح وان المسافة بينهما ملئت بقش الرز ونشارة الخشب كونها ذات عزل جيد . صنعت الرفوف والارضية من الاسبستوس وهذه الغرفة تتميز بانخفاض السعة الحرارية لها ومقاومة حرارية عالية مقارنة مع غرف التجفيف التقليدية.

استعملت اعمدة خشبية بداخلها لغرض تعليق اوراق التبغ عليها.

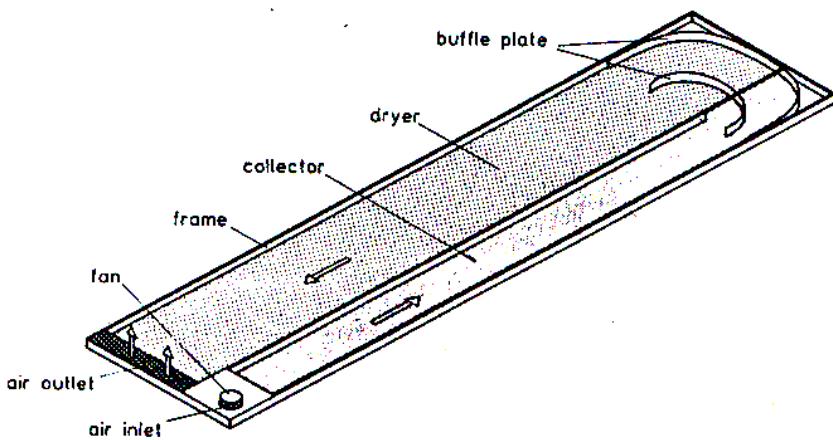
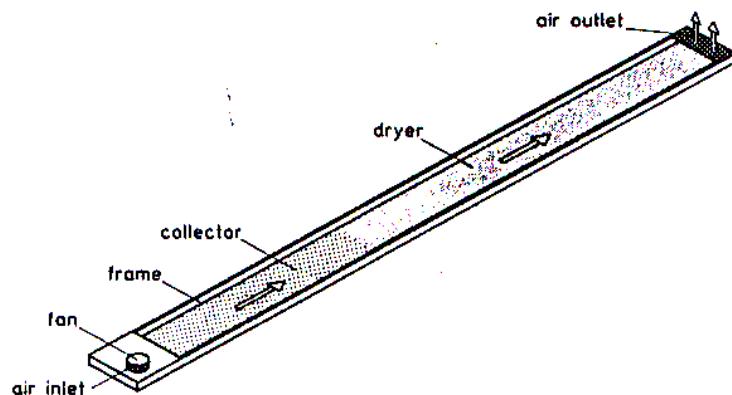
منظومة توزيع الهواء تتكون من فتحات مرتبطة مع مراوح موضوعة في اسفل غرفة التجفيف لضمان توزيع متجانس للهواء بداخلها . الهواء قبل دخوله الى غرفة التجفيف فإنه يتعرض للتسخين بفعل المجمع الشمسي . ايضا لغرض تسهيل استخدام الغاز الحيوي والحارقات المجهزة في فتحة دخول الهواء وهي ترفع درجة حرارة القنوات الحديدية مما يجعل الهواء يجري عليها. مخطط الوحدة الكاملة مع المجمع ووحدة الغاز الحيوي موضحة في شكل (3-81). تستخدم محرقة الفحم في الظروف التي ينعدم فيها الاشعاع الشمسي او كمساعد.



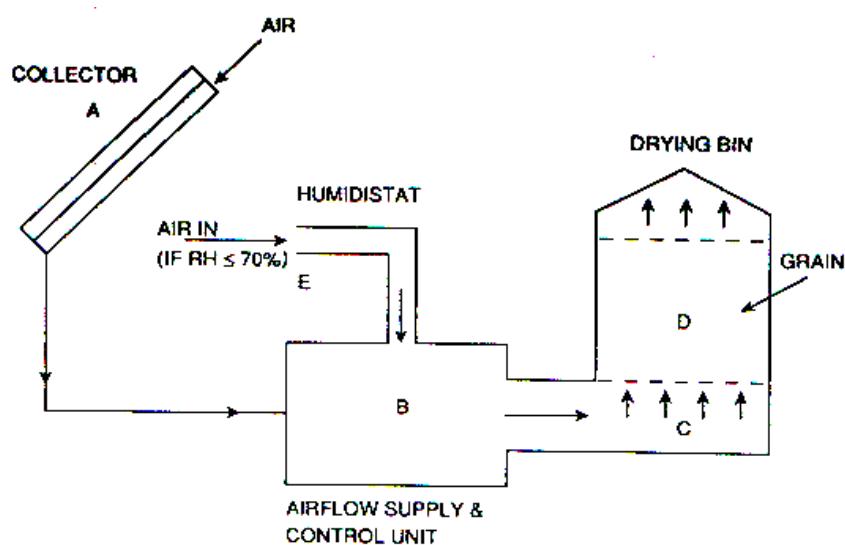


شكل (3-81) : منظومة تجفيف متكاملة.

هناك نوع آخر من المجففات يتكون من مروحة صغيرة ومجمع شمسي وغرفة تجفيف على شكل نفق، يقوم المجمع الشمسي والغذاء بامتصاص الطاقة الشمسية وتحويلها إلى حرارة لغرض التجفيف. الطاقة الاستيعابية للمجففات الصغيرة من هذا النوع تتراوح بين 50 - 300 كغم شكل (3-82) ولكن عند الساعات الأكثر من 1000 كغم فإن المجمع الشمسي والنفق يكونان متوازيان. شكل بعض الأحيان يتم تثبيت هذا المجفف على الأرض وتغطى كل مكوناته بواسطة غطاء شفاف وتوضع مادة بلاستيكية سوداء بين النفق والمجمع الشمسي ويوضع تحتهما مادة عازلة. يصل طول هذا المجفف إلى 20 م، وهناك عدة أنواع من المراوح التي تستخدم لدفع وتحريك الهواء الساخن وكل مروحة تحتاج إلى قدرة مقدارها 100 واط وتعمل بتيار متزايد.

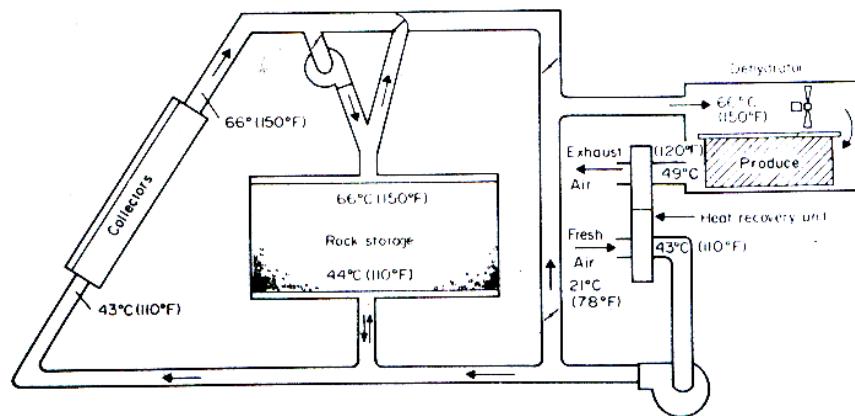


هناك تصميم لمجف شمسي قسري مزود بمنظومة خزن حراري يتكون من مجمع شمسي كفاءته 40% ووحدة خزن حراري الغرض منها استمرار عملية اثناء الليل بحيث تمنع حصوله على امتصاص الرطوبة من الجو مرة اخرى ، وهذه العملية تحصل بدون استعمال مروحة . شكل (3-83).



شكل (3-83): مجف شمسي قسري ذو منظومة خزن حراري أخرى . 16

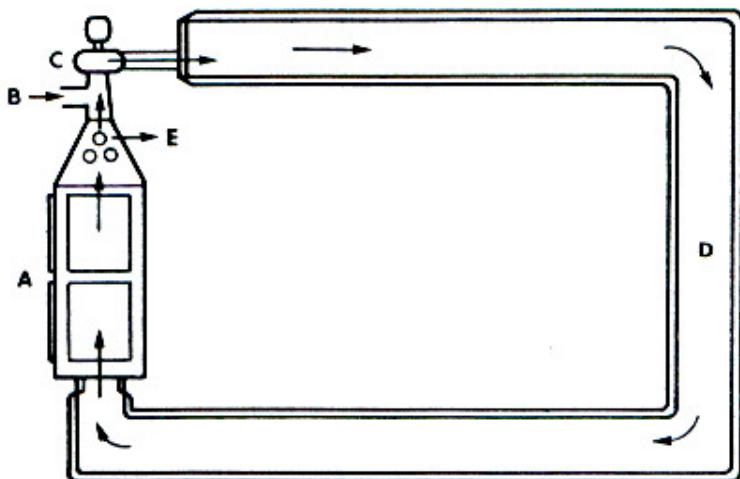
اما التصميم الاخر فهو ان مجمعه الشمسي بدون لوح زجاجي ويحتوي على ثلاث مراوح واحدة في غرفة التجفيف والثانية تسحب الهواء من الجو وبعض الهواء الخارج من غرفة التجفيف وتدفعه الى المجمع الشمسي والى غرفة الخزن الحراري وهنالك مروحة ثالثة تسحب الهواء من المجمع الشمسي وتدفعه الى غرفة الخزن الحراري ومنها الى غرفة التجفيف بحيث تكون درجة الحرارة عندها 66°C وكمما هو موضح في الشكل (3-84).



شكل (3-84): مجفف شمسي قسري مجمعه بدون لوح زجاجي.

هناك مجفف شمسي شكل (3-85) طول مجمعه الشمسي 24 م وهو بشكل انبوب اسود قطره 0.9 م مغطى بمادة البولي اثيلين بقطر 1 م . يتم سحب الهواء

الى المجفف بواسطة مروحة قدرتها 1 حصان وهناك غرفة تجفيف تحتوي على اثنا عشر طبق مساحة الواحد منها 0.6 m^2 وكل طبق يستوعب 3 كغم من الفواكه وسرعة الهواء الذي يمر على الاطباق 90 - 130 م/دقيقة. تصل الكفاءة الحرارية له 13% وكفاءة التجفيف فيه منخفضة بسبب خروج الهواء العادم منه وهو محمل بالرطوبة.



شكل (3-85) : مجفف شمسي قسري انبوبي.

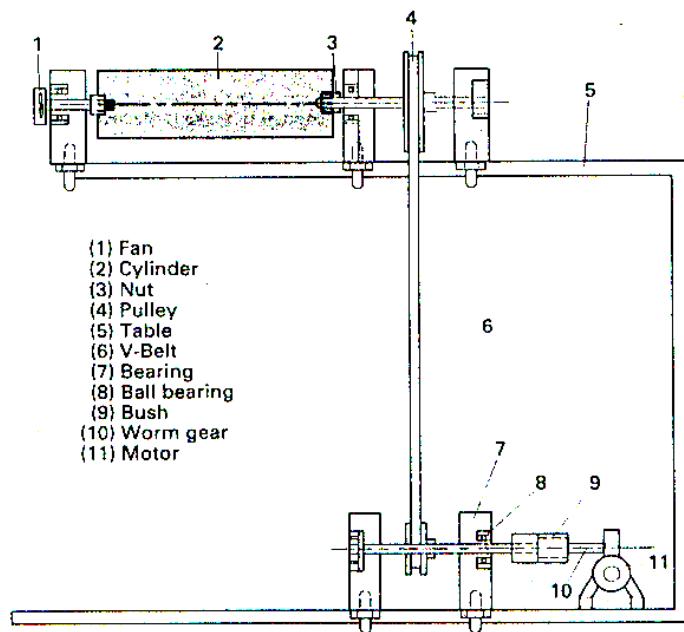
المجفف الشمسي الدواري Solar Rotary Dryer

يتكون هذا المجفف من اسطوانة دوارة مائلة قليلا باتجاه الامام ومصنوعة من الحديد المغلون شكل (3-86) المادة الرطبة تدخل من احد نهاياتها وتخرج من النهاية الاخرى مادة جافة . خلال تدوير الاسطوانة يحصل تقليل للغذاء الموجود بداخليها ، هذه الاسطوانة سماكتها 1.5 ملم وملحومة مع وجهين لها عند نهايتها بصفحة سماكتها 6 ملم ، هذان الوجهان متقيبان لتسهيل دخول وخروج الهواء اليها ومنها وهما متصلان مع محوري دوران ، احد الوجهين مزود بمروحة تساعد على مرور الهواء الساخن خلال الحبوب لكي يجف . هذه الاسطوانة طولها 1 م وقطرها 0.28 م ومطلية بلون اسود غير لامع من سطحها الخارجي وهي تمثل المجمع الشمسي وغرفة التجفيف بالوقت نفسه.

الهواء يدخل من احد الوجهين المتقيبين بواسطة سحب المروحة وعندما يكون في تماص مع جدران الاسطوانة فإنه يسخن وجهها ويغادر الهواء المحمل بالرطوبة من الوجه الآخر . سرعة المحرك الكهربائي المستعمل في هذا المجفف هي 1440 دورة

بالحقيقة يتم تخفيض هذه السرعة باستعمال مسنين احدهما من النوع الدوبي worm والآخر من نوع لوليبي helical وعدد اسنان المسن الاول هي 3 سن والثاني 30 سن ، ونسبة التخفيض 10:1 ولهذا فان سرعة المسن الثاني هي 144 دورة بالحقيقة. والتخفيض الثاني يتم بواسطة بكرتين مختلفتين بالاقطار الاولى قطرها 7 سم مرتبطة مع المسن الثاني والبكرة الثانية قطرها 40 سم متصلة مع محور اسطوانة التجفيف وعليه تكون سرعة اسطوانة التجفيف 26 دورة بالحقيقة.

اجرى Muller واخرون في عام 1989 في يوغسلافيا بعض التحويرات على البيت البلاستيكي التقليدي وهي استخدام ثلات قطع من PVC المحمولة على مساند لثبت الطبقتين الاضافيتين . استعمل نسيج من القماش الاسود الرقيق كمتص للطاقة الشمسية امتصاصيته 97% من طاقة الاشعاع الشمسي وثانيا طبقة ذات فقاعات هوائية لتقليل الفقدان الحراري من الجانب الخلفي شكل (3-87) هذه الطبقات الاضافية يمكن ان تزال بسهولة ويبقى كبيت بلاستيكي طبيعي عند عدم استخدامه.



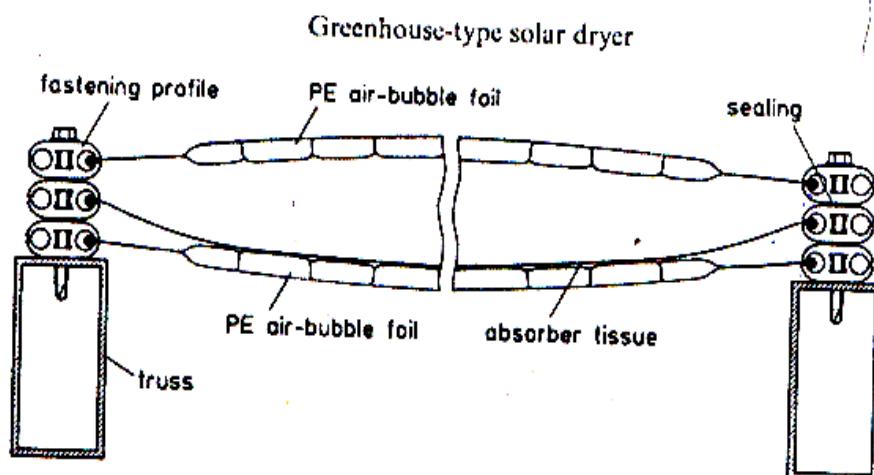
شكل (3-86): مجفف شمسي دوراني.

الجزء الشمالي والجزء الجنوبي من سطحه استخدما كمسخنات للهواء لغرض زيادة المساحة السطحية . السطح الموجه للجنوب امتد ليصل الى الارض شكل (3-88)

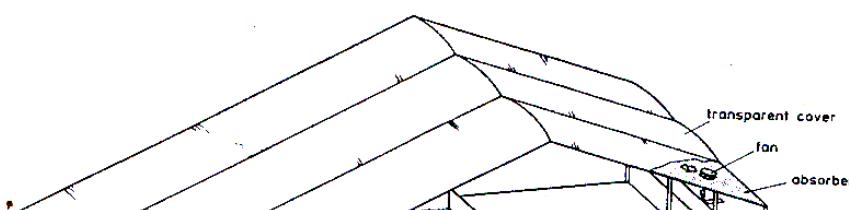
، ويصل طول السخانات هنا الى 17 م وهذا يعطي مساحة مقدارها 34 م² لكل سخان هواء.

قسم المجفف من الداخل الى عدة اقسام وفي كل واحد وضعت عدة صناديق مصنوعة من الخشب طول الواحد منها 5 م وعرضه 2 م وارتفاعه 1.2 م . المواد تنشر داخل ارضية هذه الصناديق المصنوعة من القرميد . هذه الارضية ثبّتت على بعد 0.5 م فوق ارضية من الكونكريت وهذه تمت تغطيتها بقماش لمنع الدقائق الصغيرة بالسقوط الى الاسفل ويعطي توزيع متجانس لجريان الهواء. ان كل جزء تجفيف يعمل منفصل عن الجزء الآخر وله مروحة خاصة به موضوعة بين الجزء الممتص والغطاء وتعمل بتيار متناوب وقدرة مقدارها 520 واط.

يسكب الهواء من الجزء الشمالي البارز ويدفعه بين الغطاء العلوي والنسيج الرقيق ويذهب الهواء الى المواد الموجودة في المجفف ويغففها ويخرج من خلال فتحات التهوية الموجودة في الجدران الجانبية . الجدار الشمالي من المجفف يخفض بواسطة بكرة كهربائية ونسبة تدوير الهواء يمكن ان تنظم بواسطة رفع وخفض هذا الجدار . يتم نقل المواد المجففة بواسطة ساحبات متوسطة الحجم بحيث ارتفاعها الكلي اقل من 2.4 م.

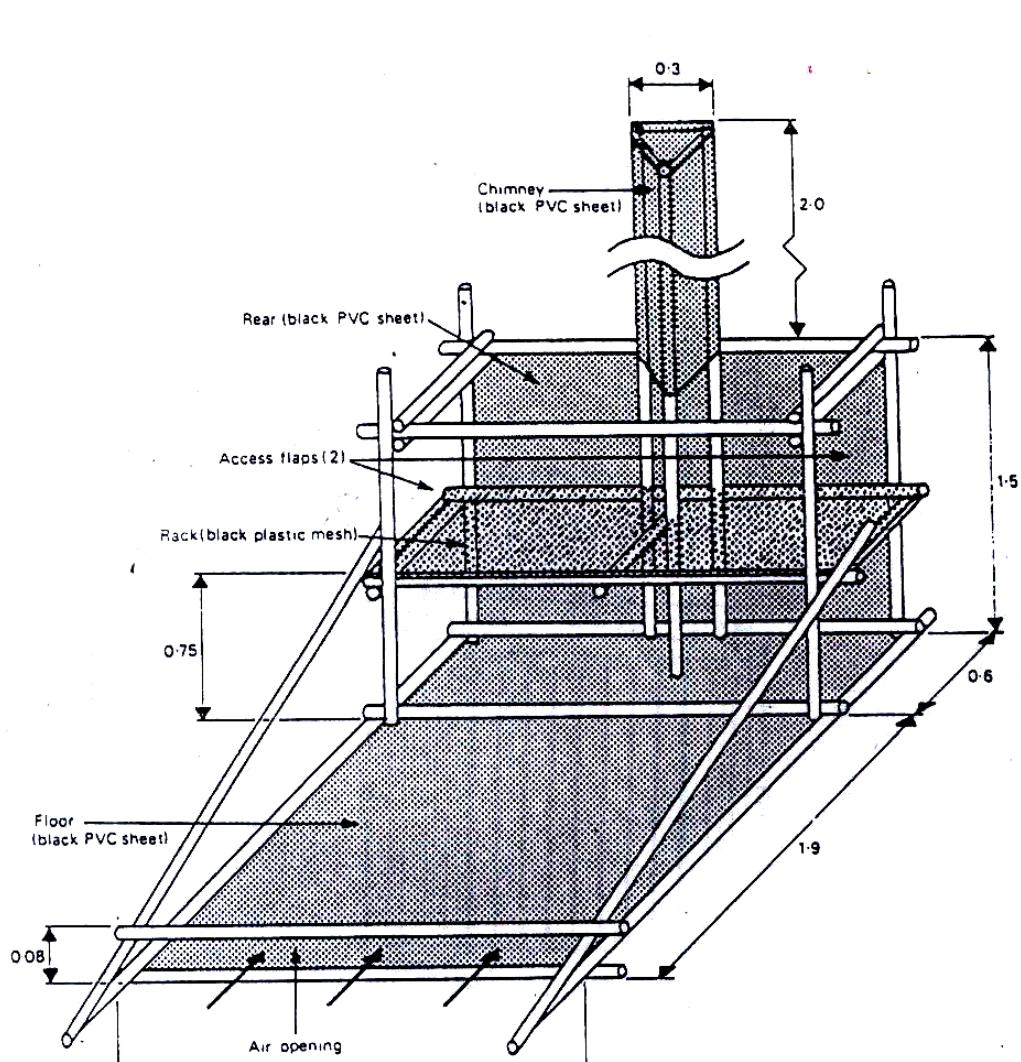


شكل (3-87) : مجفف شمسي قسري غير مباشر على شكل بيت زجاجي.

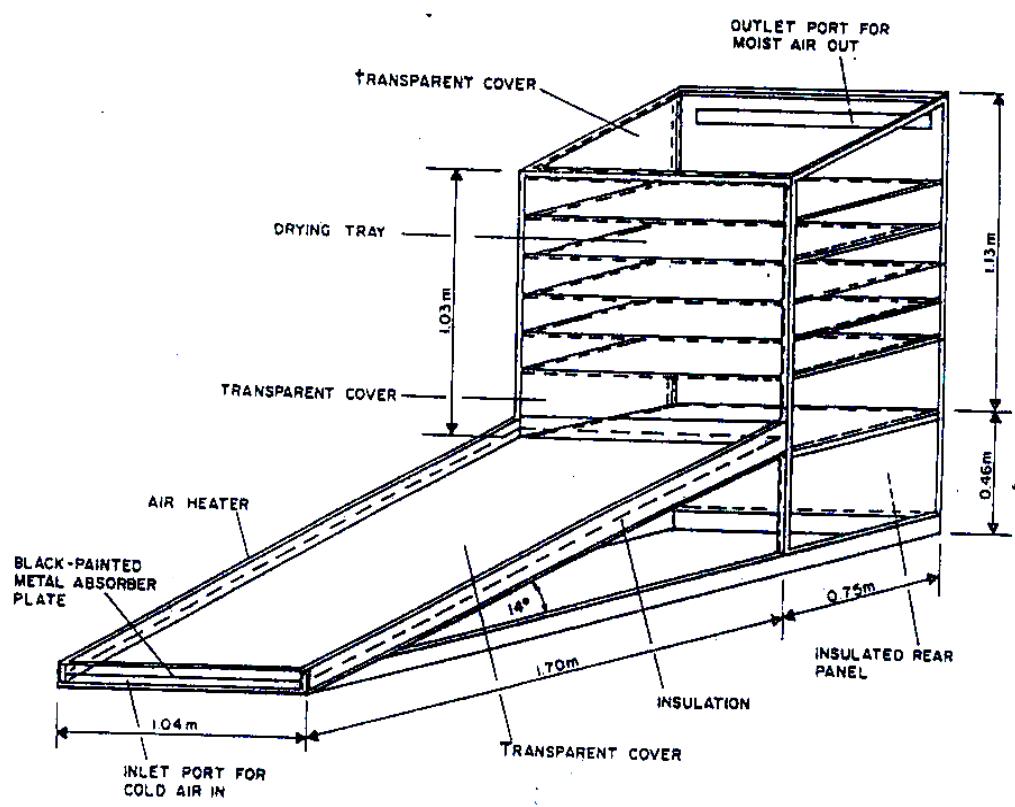


المجف الشمسي المختلط Mixed solar dryer

وفيه تتعرض المادة الغذائية الى الاشعاع الشمسي والهواء الحار الناجم عن المجمع الشمسي بوقت واحد حيث ان غرفة التجفيف تحتوي على لوح زجاجي شفاف ، شكل (3-89) و (3-90).



اسعد وعمران الحلفي التجفيف بالطاقة الشمسية



تصميم المجفف الشمسي المختلط

وفيه يمر الهواء الساخن إلى طبق الغذاء من مجمع شمسي يقوم رتسخين الهواء ودفعه إلى غرفة التجفيف وبالوقت نفسه السطح العلوي من الطبق يمتص طاقة شمسية مباشرة عبر اللوح الزجاجي . المكونات الأساسية لهذا المجفف هي فتحة لدخول الهواء إلى المجمع الشمسي وغرفة تسخين الهواء وغرفة تجفيف ومدخنة تقوم بسحب الهواء من غرفة التجفيف . عندما يدخل الهواء إلى غرفة التسخين (المجمع الشمسي) ترتفع درجة حرارته وتقل كثافته ويتمدد فيندفع الهواء باتجاه الاعلى بواسطة قوة *bouncy* التي تساوي وزن الهواء الجوي المزاح بواسطة تمدد الهواء الخفيف بداخل الهواء حيث المجمع موجه باتجاه الجنوب ويميل بزاوية تحدد اعتمادا على خط عرض المدينة وكما مر سابقا في الفصل الثاني. والتسخين الثاني هو ناتج من المجمع الشمسي الموجود على غرفة التجفيف وتتجفف الاغذية عن طريق انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل .

صمم (2001) Basunia & Abe مجفف شمسي مختلط ذو ثلاثة رفوف يعمل بالحمل الطبيعي لتجفيف الحبوب (الرز) شكل (3-91) و (3-92). هذا النوع من المجففات هو افضل من الانواع الاخرى (المجففات الصندوقية ، مجففات ذات ارضية مفتوحة (open floor dryer) .

هناك نقاط عدة يجب التعرض لها عند التصميم وهي :

1- حساب كمية الرطوبة الواجب إزالتها من الغذاء الطازج لغرض الوصول إلى المحتوى الرطوي الذي يجعل عملية الخزن أمينة في وقت معين وتحسب من المعادلة الآتية:

$$w_w = \frac{W_g (X_i - X_f)}{100 - X_f} \dots \quad (3-83)$$

حيث:

W_g : الكتلة الأولية للغذاء التي سوف تجفف (كغم).

X_i : المحتوى الرطوي الأولي على أساس رطب (%).

X_f : المحتوى الرطوي النهائي على أساس رطب (%).

2- ان فترة حصاد المحصول مهمة جدا في عملية التجفيف حيث خلال هذه الفترة يجب معرفة الرطوبة النسبية للجو ودرجة حرارة الجو.

3- معرفة عدد الساعات المشتمسة في اليوم لغرض تحديد زمن التجفيف الكلي وهي غالباً ماتكون من الساعة الثامنة صباحاً ولغاية الساعة الرابعة والنصف عصراً. وهذا يؤثر على معدل التجفيف (كغم /سا) الذي يتم تحديده من كتلة الرطوبة المزالة بواسطة الحرارة الناتجة من الطاقة الشمسية وזמן التجفيف وحسب المعادلة الآتية:

$$W_r = \frac{W_w}{t_d} \dots \quad (3-84)$$

t_d : زمن التجفيف الكلي المطلوب لازالة الرطوبة من الغذاء الرطب (ساعة).

4- حساب كمية الهواء المطلوبة للتجفيف ، ويمكن تقديرها من معادلة موازنة الطاقة او من المخطط السايكرومترى وكالاتى : (Basunia & Aby, 1996)

$$w_w \lambda = w_a C_{pa} \rho_a (T_i - T_f) \dots \quad (3-85)$$

W_g : حجم الهواء المطلوب لامتصاص الماء من الغذاء (m^3)

٢: الحرارة الكامنة لتبخر الماء ومقدارها 2620 (كج / كغم) .

C_{pa} : السعة الحرارية النوعية (كج / كغم °).

ρ_a : كثافة هواء التجفيف (كغم / م³).

T_u : درجة الحرارة النهائية وال الأولية على الترتيب ($^{\circ}\text{م}$):

المشكلة في تصميم المجفف الشمسي هي تحديد درجة الحرارة الاولية ودرجة حرارة الهواء التحفييف قبل المرور خلال الطبق الحامل للغذاء والكمية الصحيحة من الهواء لازالة الرطوبة من الغذاء . ان الحرارة الكامنة للتبخّر والحرارة النوعية للهواء معروفة وكذلك درجة الحرارة النهائية يمكن ايجادها من نسبة الرطوبة والمحتوى الحراري من المخطط السايكرومترى.

5-معدل الجريان الحجمي للهواء (M^3 /سا) يمكن الحصول عليه من قسمة

حجم الهواء على زمن التجفيف الكلى وكالاتى:

Q_a : معدل الجريان الحجمي للهواء ($\text{م}^3/\text{s}$).

ويمكن حسابه ايضا من المعادلة التالية:

$$Q_a = \frac{R}{\rho_a(x_f - x_i)} \dots \quad (3-88)$$

R : معدل التجفيف (كغم ماء / كغم مادة جافة).

x_f : نسبة الرطوبة الأولية (كغم ماء / كغم مادة جافة).

x_i : نسبة الرطوبة النهائية (كغم ماء / كغم مادة جافة).

6- طاقة الاشعاع الشمسي اليومية لتحديد الطاقة المستلمة بواسطة المجفف

بالبيوم ومساحة المجمع الشمسي، المطلوبة.

من الطاقة الحرارية المفيدة المطلوبة لت bx الرطوبة والأشعاع الشمسي المستلم من قبل المجمع الشمسي المائل ، تحسب مساحة المجمع الشمسي (A_c) م² من العلاقة الآتية:

I : طاقة الاشعاع الشمسي الكروي الساقط على السطوح الافقية خلال فترة التجفيف (Kj / m^2).
Q_d : الطاقة المفيدة الكلية المسالمة بواسطة هواء التجفيف (Kj).

٦ : كفاءة المجمع الشمسي وهي تتراوح بين 30 - 50 % .(Sodha *et al.*, 1987)

7-مساحة المجف الشمسي وابعاده.

في حالة المجف الشمسي الطبيعي فان عمق الطبق الحامل للغذاء مهم جدا بحيث يجب ان يكون اختياره يجعل الاختلاف بالضغط عبره يسمح بمرور كمية من الهواء خلاله وهو بالنسبة للحبوب مهم جدا. لجعل الهواء مستمر بالجريان خلال الطبق استخدمت ثلاثة رفوف باعمق ضحلة مع مراعات ترك مساحة بمقدار 5 % من الاطباق لتسمح للهواء بالمرور على الاطباق من الامام الى الخلف وبالعكس بحرية.

ان عرض المجفف يجب ان لا يكون اكثرا من 90 سم لايستطيع العمل بسهولة عند تحمله وعدم تحميشه وبعمق متجانس وسهولة تثبيته على الارض من الخلف. اما الطول فهو حسب متطلبات المنظومة . عمق كل طبق 5 سم بدلا من استخدامه طبقة واحدة بسمك 15 سم طول كل طبق يمكن حسابه من المعادلة الآتية:

L_g : طول طبق الحبوب (م).

P_g : كثافة الحبوب الرطبة (كم³ / م³).

b_g : عمق طبق الحبوب (م).

d_g : عرض طبق الحبوب (م).

٨- سرعة الريح تستخدم لحساب ابعاد فتحة التهوية وذلك من خلال قسمة معدل

جريان الهواء الحجمي على سرعة الريح وكالاتي:

$$A_v = \frac{Q_a}{V_w} \dots \dots \dots \quad (3-91)$$

A : مساحة فتحة التهوية (م²) .

V_w : سرعة الريح (م\سا).

طول فتحة التهوية تساوي طول المجف على عرض فتحة التهوية وتحسب

کالاتی:

$$B_v = \frac{A_v}{L_v} \dots \dots \dots \quad (3-92)$$

B: عرض فتحة التهوية (m^2).

L_v : طول فتحة التهوية (م).

air pressure head ضغط الهواء عمود

الاختلاف بالضغط غير طبق الحبوب يكون فقط نتيجة لاختلاف الكثافة بين

الهواء الحار داخل المجفف والهواء الجوى. العلاقة المستخدمة لتحديد ضغط

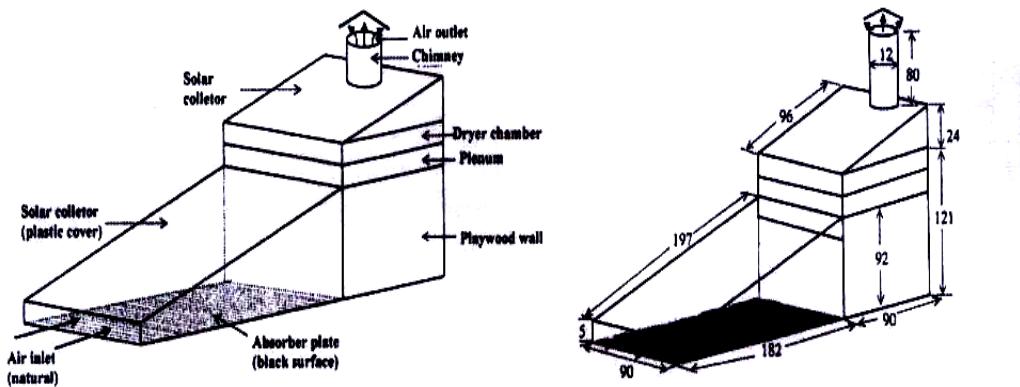
الهواء هي :

P: ضغط الهواء (باسكال).

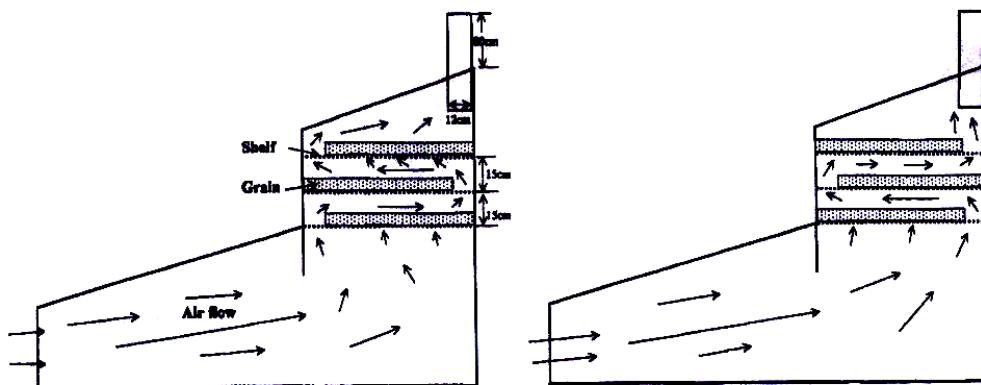
g : التعجيل الارضي (م \ ث²).

T_{am} : درجة حرارة الجو (م°).

H : عمود الضغط ويمثل ارتفاع عمود الهواء الحار من قاعدة المجفف الى نقطة تصريف الهواء من المجفف. (م).



شكل (3-91): المجفف الشمسي المختلط موضحة عليه الأبعاد. (Basunia & Abe, 2001).



شكل (3-92): جريان الهواء في المجفف الشمسي المختلط.

المجففات الشمسية الهجينة Hybrid Solar Dryer

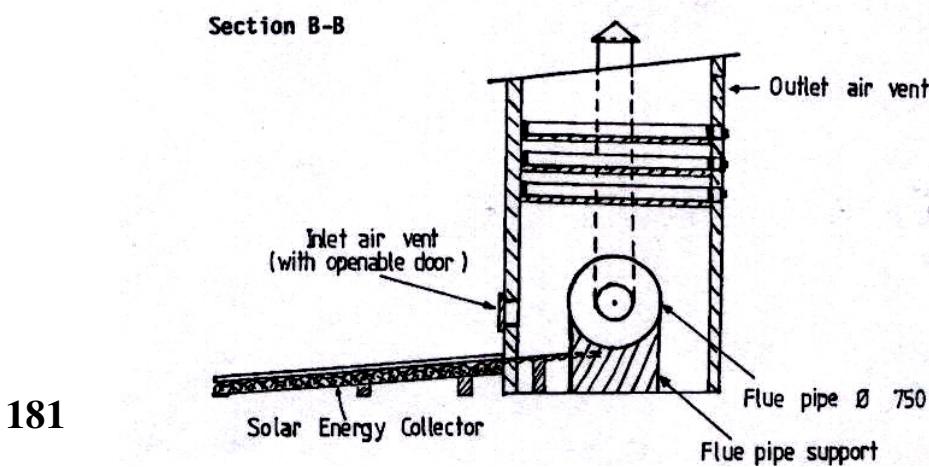
تزود هذه المجففات بسخان كهربائي ومروحة في غرفة التجفيف ، الغرض منها هو استخدام المجفف في الظروف الجوية غير الطبيعية مثل الغيوم والامطار او استخدامها كمساعد للمجفف الشمسي في الصباح حيث يكون الاشعاع الشمسي قليلاً

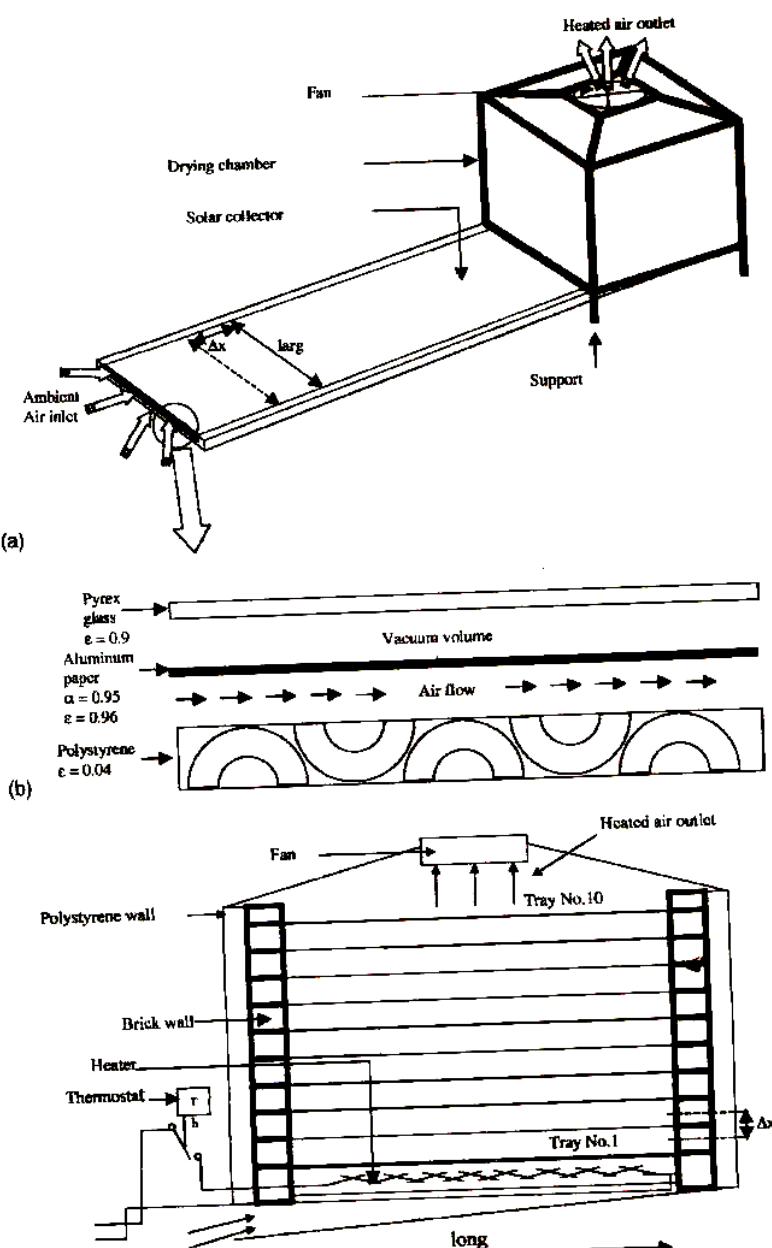
وغير كافي للتجفيف او في الليل حيث ينعدم الاشعاع الشمسي او قد يستخدم حرق النباتات او الوقود كمصدر للطاقة شكل (3-93).

يوضح الشكل (3-94) مجفف شمسي هجين يتكون من صفيحة من الـ polystyrene سمكها 0.04 م وجدار من الطابوق سمكه 0.1 م يحتوي على عشرة اطباق تشكل المسافة بين طبق واخر 0.1 م ويحتوي على مروحة تستخدم لتحريك الهواء داخل المجفف وتوزيعه بشكل متجانس.

المجمع الشمسي هو من النوع المستوي flat air collector شكل b-1 مرتبط بغرفة التجفيف . يتكون المجمع من صفيحة زجاجية glass pyrex plate سمكها 0.01 م استخدمت كغطاء ويحتوي ايضا على صفيحة من الالمنيوم سمكها 0.001 م مصبوغة بلون اسود تدعى هذه الصفيحة بصفحة الامتصاص. واستخدم عازل من نوع polystyrene سماكة 0.04 م.

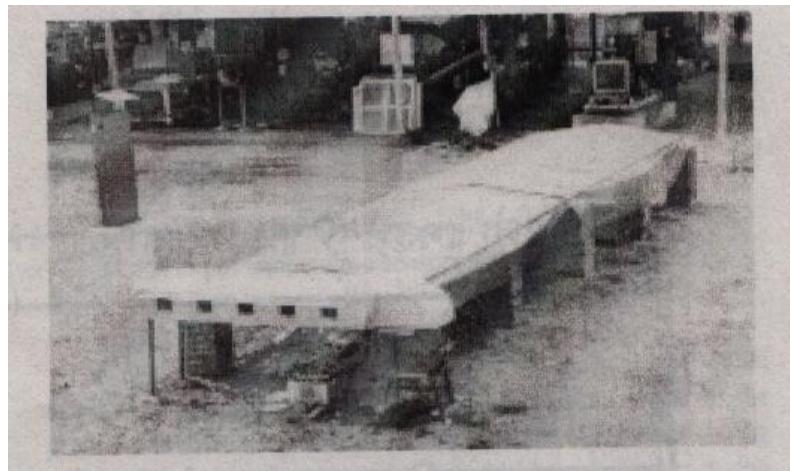
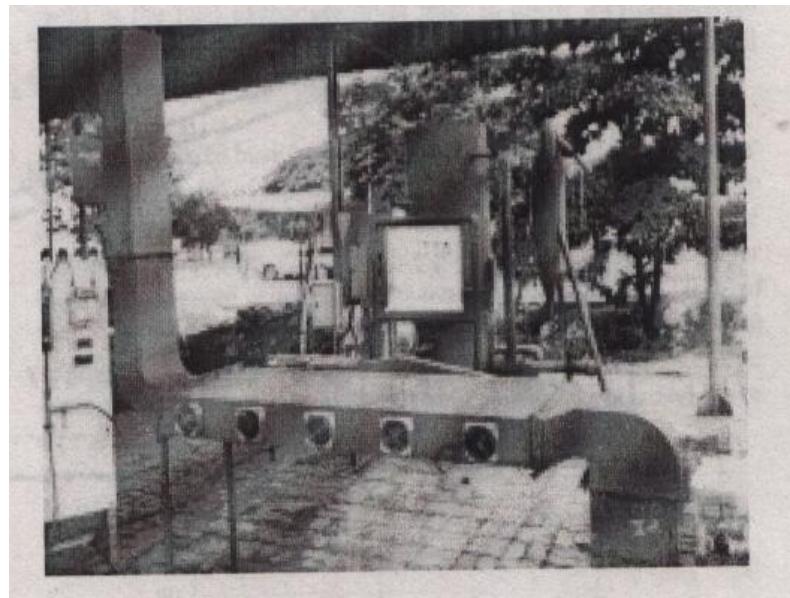
يجري الهواء بين صفحات الامتصاص والغاز ، اما المسافة بين صفحات الامتصاص والزجاج فهي مفرغة من الهواء لتقليل فقدان الحراري العلوي. اضيف سخان كهربائي الى المجفف شكل 1 - c يستخدم في الظروف البيئية غير الجيدة وعندما تكون درجة حرارة الهواء الخارج من المجمع الشمسي اقل من 50 م° . تتم السيطرة على عمل السخان بواسطة الترmostats الذي يوضح عند فتحة خروج الهواء من المجمع الشمسي.





هناك تصميم اخر من المجففات الشمسية الهجينه شكل (3-95) التي تعمل بحرق بقايا النباتات كمصدر للطاقة *solar – biomass hybrid dryer* والتي تكون من مجمع شمسي ذي صفيحة امتصاص مستوية ونفق تجفيف كلاهما وحدة واحدة ، عرض المجفف 1.8 م وطول المجمع 4 م وطول المجفف 4.24 م . العازل المستخدم هو من نوع الصوف الزجاجي *glass wool* بسمك 4 سم واستخدمت طبقة من البولي اثيلين الحاجب لاشعة فوق البنفسجية *UV stabilized polyethylene sheet* سماكه 0.2 ملم. يحتوي المجفف على مبادل حراري من النوع الانبوبى يمر فيه الهواء الداخل الى المجمع ويحتوى المجمع على خمس مراوح قدرة الواحدة منها 14 واط . تصريف الهواء الكلى هو 130 م³/سا وانابيب المبادل الحراري متصلة بغرفة التجفيف وتحتوي الاخيرة على مدخنة *chimmney* في هذا المجفف تتراوح درجة الحرارة بين 65 – 70 ° م

الطاقة المطلوبة لتجهيز هواء حار بواسطة المبادل الحراري عند درجة حرارة 70 م هي 12.7 كيلو واط ومقدار الوقود المستهلك 2.44 كغم/سا والمحرقة مصنوعة من الحديد عرضها 0.3 م وطولها 0.275 م وارتفاعها 0.4 م . الموقد يحتوى على 44 فتحة قطر الواحدة منها 1.5 سم لغرض زيادة كفاءة ونوعية الاحتراق . تكون المحرقة متصلة بالمدخنة التي تعمل على سحب الغازات ومعدل جريانها فيه 139 م³ / سا وهو ذو شكل مستطيل ابعاده 275 م * 0.16 م وارتفاعه 1 متر.



شكل (3-95): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي الهاجين
المزود بمحرقة. (Mastekbayeva et al., 1998).

الفصل الرابع

الطباخات والأفران الشمسية Solar Cookers And Ovens

ان مفهوم الطبخ بالطاقة الشمسية مضت عليه اكثراً من 220 سنة وكان مستخدم عند الفرنسيين في بداية عام 1870 م . كل الطباخات الشمسية تعمل على مبدأ تركيز الاشعة الشمسية بصورة مباشرة لرفع درجة حرارة الغذاء او الماء لدرجات الطبخ التي تبدأ عند 150 درجة فهرنهايت على الرغم من ان الدرجات الحرارية المفضلة هي 250 - 400 درجة فهرنهايتية.

الطباخات الشمسية من نوع ذو العاكسه المفتوح تكون بؤرة اشعة الشمس على الطبخ بالقدور المفتوحة، كذلك الافران الشمسية تقتصر حرارة الشمس بداخل صندوق معزول مزود بغطاء شفاف . الطباخات الشمسية ذات الصندوق ابتكرت عام 1970 م والان هي مستخدمة بشكل واسع حتى في البلدان المتطرفة.

كيف يعمل الفرن الشمسي

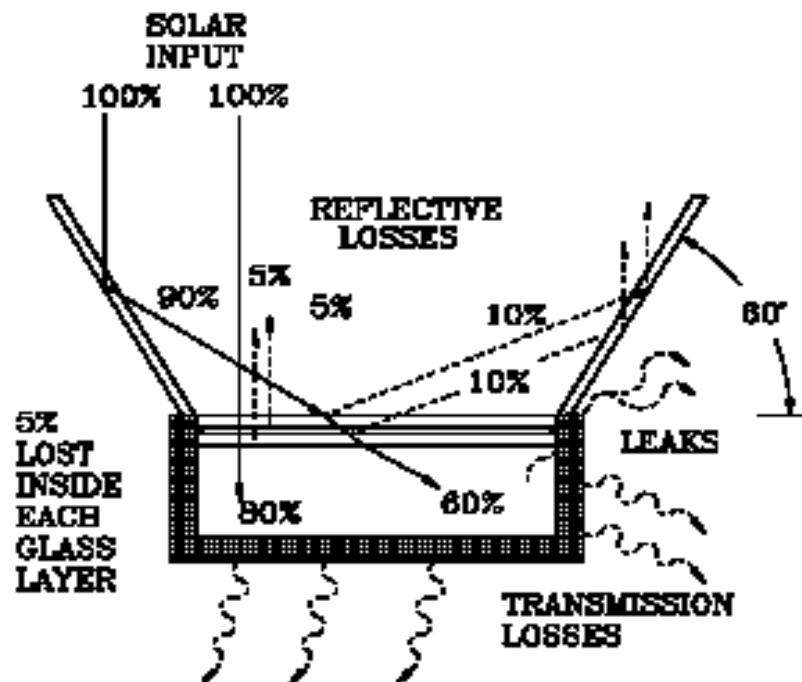
درجة حرارة الافران الشمسية تصل الى درجة حرارة الطبخ عندما يكون الريح بالطاقة الشمسية يساوي المفقودات الحرارية ، وهي عبارة عن حالة توازن بين الريح بطاقة الإشعاع الشمسي والفقدان الحراري. فقدان الحراري ينتج عن حصول حالة الانعكاس والامتصاص والانتقال والتسلوب والفقدان الحراري نتيجة الطبخ وكما هو موضح بالشكل (1-4). الريح بالطاقة الشمسية يعتمد على المساحة الكلية المعرضة للشمس وفعالية المجمع.

اخترق الضوء للزجاج مهم جدا ويجب ان لا تكون الزاوية مع العمود ضحلة ، فإذا كانت الزاوية 30 درجة مع العمود للعاكسات فيكون الاختراق جيد وينتشر الضوء بصورة جيدة في المعدن . شكل (2-4).

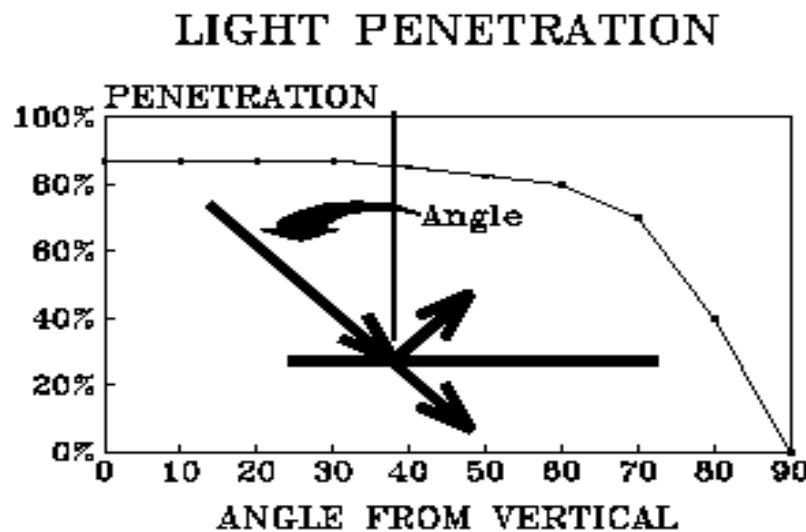
ان انعكاسية المراة تصل الى 99% وتقدر 5% خلال زمن مرور الضوء من خلالها، بينما السطوح المعدنية اللامعة تصل انعكاسيتها الى 90% .

الزاوية 30 درجة من العمود او 60 درجة من الافق لكل عاكس وهي تساوي عرض غرفة الطبخ لكي تسمح لجميع الضوء المعكوس منها بالدخول الى غرفة الطبخ . يمكن ان تثبت المراة بصورة مفصلية لغرض طويها اثناء النقل. كلما كانت زاوية

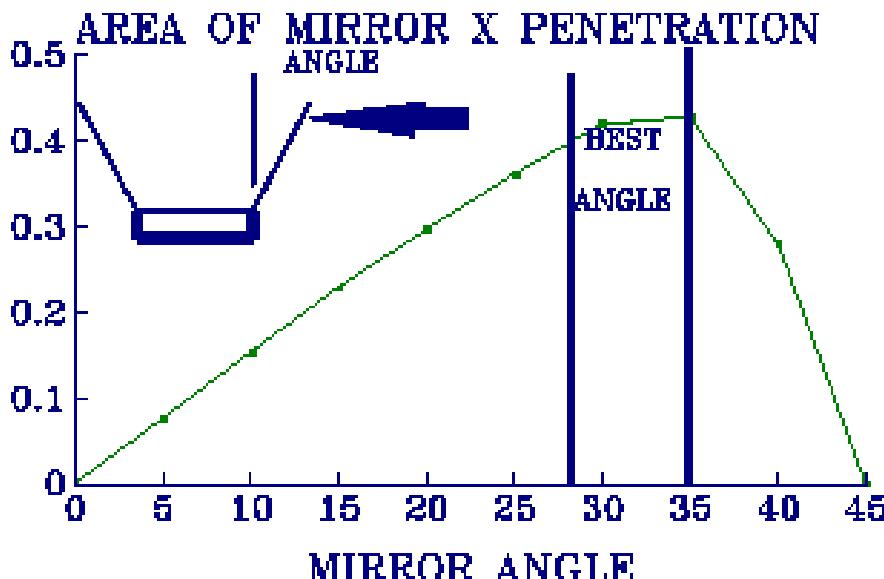
الشمس ضحطة كلما زادت الانعكاسية ، وان اختراق اشعة الشمس للغطاء الزجاجي يتحسن بعض الشيء عندما تكون الزاوية العمودية كبيرة. كما في شكل (4-3)



شكل (4-1) : سقوط الاشعاع الشمسي على الفرن الشمسي والفقدان الحراري.



شكل (4-2) : اختراق الضوء للزجاج. (Nicols & C.E.M., 1993).



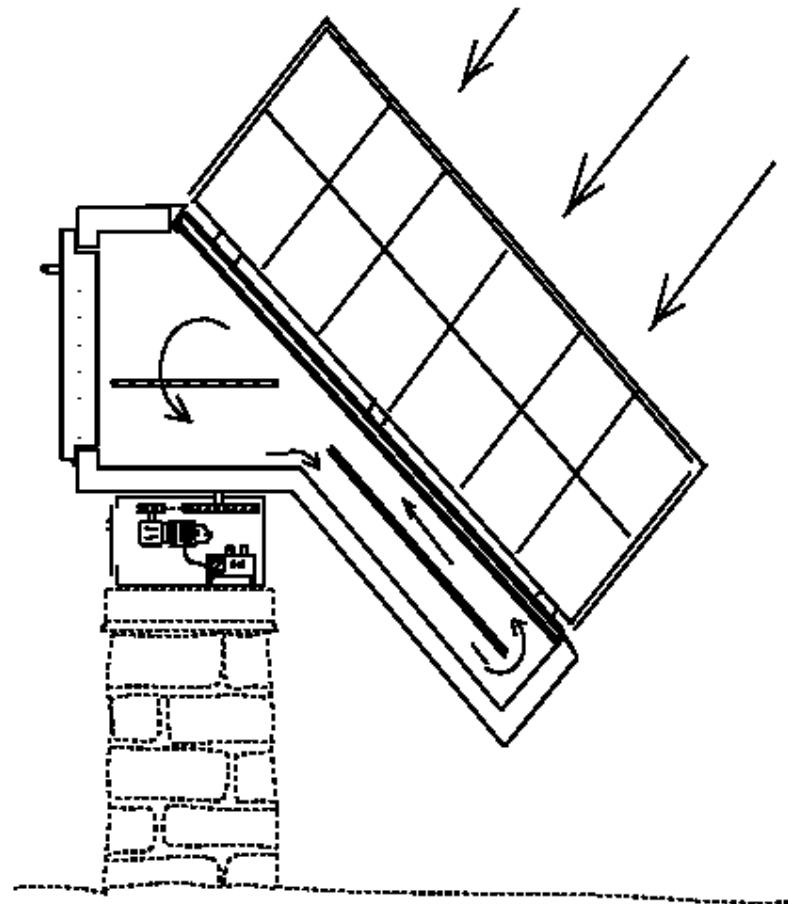
شكل (4-3) : العلاقة بين زاوية المراة ومساحتها.

هناك خمسة عوامل تؤثر على الطباخ هي درجة حرارة الطبخ والفقد الحراري ويمكن السيطرة على الحرارة المنبعثة باستخدام العازل وكذلك استخدام غطائين زجاجيين يعملان على خفض فقد الحراري العلوي و السيطرة على فوائد التسرب من خلال البناء الجيد للطباخ وغرفة الطبخ يجب ان تكون محمية من تأثير الرطوبة. ان حرارة الطاقة الشمسية تنتقل الى الغذاء بواسطة ثلاثة ميكانيكيات هي الاشعة الشمسية المباشرة على الغذاء وتاثير الحمل حيث ان الهواء الحار في غرفة الطبخ يحيط بالغذاء وكذلك انتقال الحرارة بالتوصيل من الطبق الى الغذاء ، اذا كان الطبق مصنوع من معدن ثقيل مثل الحديد او الالمنيوم فان اشعة الشمس سوف تسخنه ويكون اشبه بالموقد تحت الغذاء . هذه العوامل الثلاث تجعل عملية الطبخ كفوءة جدا . يحصل هنالك فقدان حراري مؤقت يخفض درجة حرارة الفرن من 25 – 50 درجة فهرنهايتية .

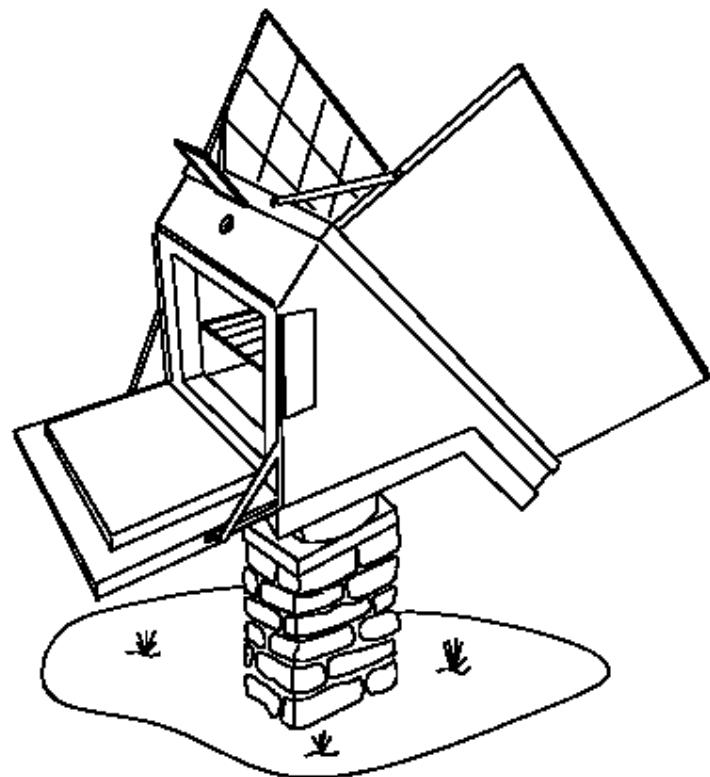
ان هذا الطباخ يتبع الشمس باستمرار الا انه غير متقل ويصنع من معادن تقاوم لعدة سنوات من استخدامه. ومن مميزاته انه محمول على قاعدة ومرتفع ومثبت بصورة مائلة ولا يمكن تغيير زاوية ميله على مدار السنة ويحتوي على مراتين

ومجمع شمسي ذو صفيحة امتصاص مستوية ، يتحرك الهواء بداخلة بصورة طبيعية وان تيارات الحمل التي تحدث فيه تكون كافية لإجراء عملية الطبخ وان أطباق الطهي تكون ساخنة جدا . يدور هذا الطباخ حول محور ثابت مما يسمح بتعقب الشمس خلال اليوم اما بواسطة اليد او باستعمال وسيلة تلقائية وله القدرة على استيعاب كمية كبيرة من الغذاء.

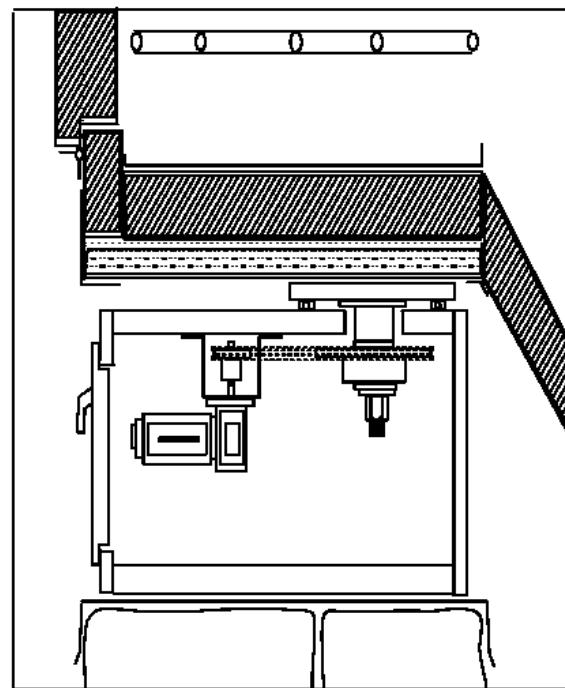
يبين الشكل (4-5) نمط تدوير الهواء في داخل غرفة الفرن او الطبخ . عملية دوران هذا الفرن تتم بفعل محرك كهربائي عدد دوراته من 1 - 5 دورة بالدقيقة ، يعمل بواسطة بطاريات صغيرة بفولتية 12 - 24 فولت وبنтир مستمر مرتبط مع صندوق تروس نسبة التخفيف فيه 3 الى 1 مما يجعل عدد دورات الفرن او الطباخ تتراوح من 1 - 0.5 دورة بالدقيقة وتشحن بواسطة خلية ضوئية . ان قلب الفرن الشمسي ذو منظومة التعقيب هو السيطرة الالكترونية والاخيرة مكونة من دايمود ضوئي وريللي 12 فولت تيار مباشر والشاحنة تكون مزودة بخلية ضوئية تستخدم لشحن البطاريات التي هي من نوع AA نيكل - كادميوم يمكن اعادة شحنها وتعطي 12 الى 15 فولت عند 50 - 80 ملي امبير . ان الدايمود الضوئي يوصل الكهربائية عند وجود الضوء ، وهناك صندوق الظل يعمل على تظليل الدايمود الضوئي عندما يكون الفرن مقابل بؤرة الشمس ويسبب توقف المحرك وعندما تبتعد الشمس عنه تعمل المنظومة على تدوريره باتجاه الشمس . عند الغروب يدور الفرن الى وضعه الاصلي الذي كان عليه في بداية التشغيل ان المحرك يدور باتجاه عكسي .



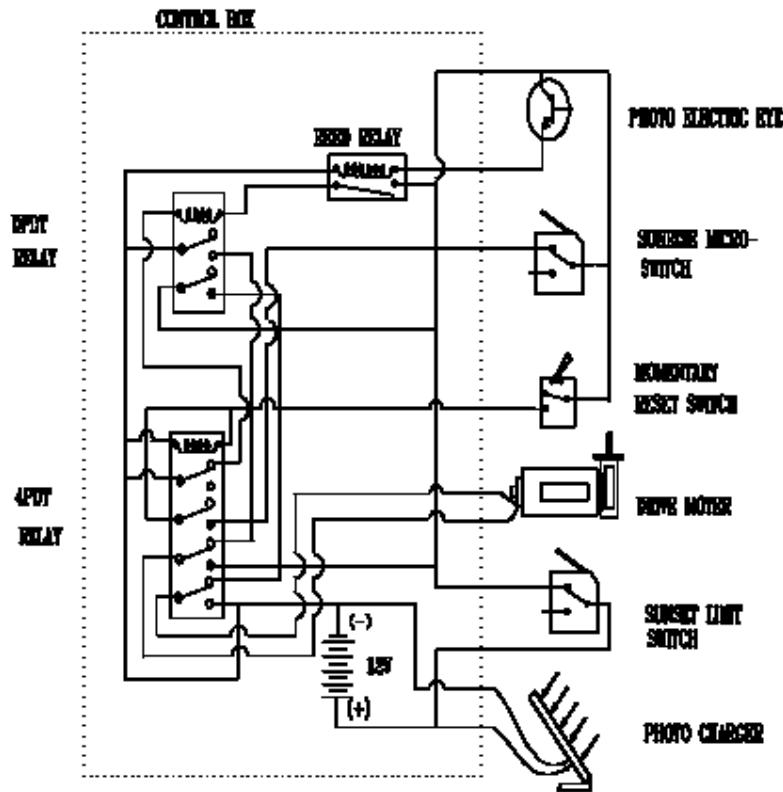
شكل (4-5) : نمط تدوير الهواء في داخل غرفة الفرن.



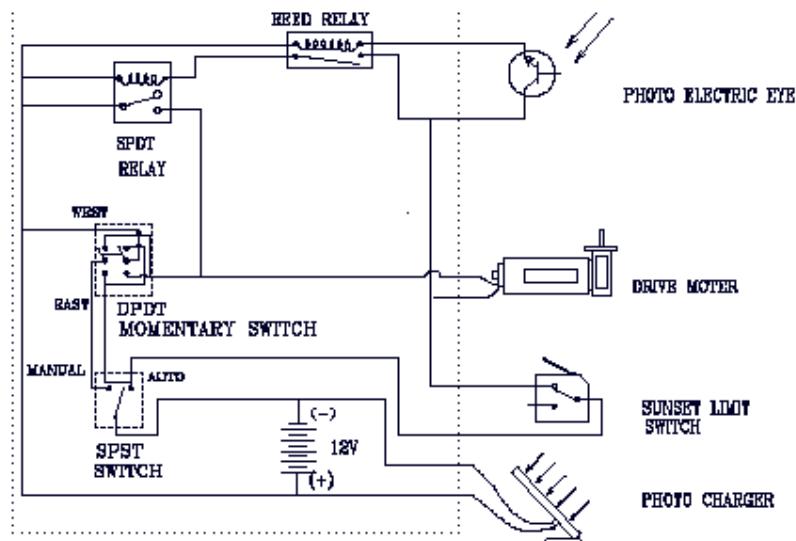
شكل (4-6) : نصب الفرن.



شكل (4-7) : آلية تدوير الفرن.



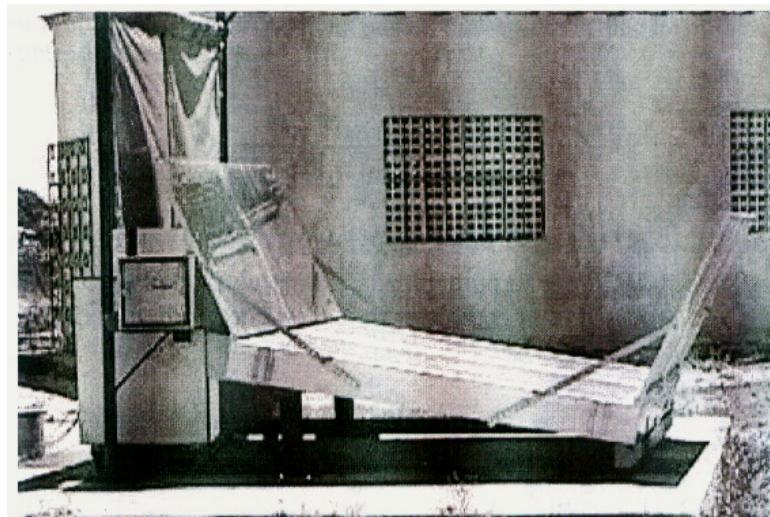
شكل (4-8) : الدائرة الكهربائية للفرن.



شكل (4-9) : الدائرة الكهربائية للفرن.

هناك طباخ يستعمل فيه مجمع شمسي ذو صفيحة امتصاص مستوية وتصل درجة حرارة مائع التشغيل فيه الى 200 درجة مئوية وان وحدة الطبخ تحتوي على خزان لحفظ الحرارة وفرن للخبز. شكل (4-10). ان مائع التشغيل يسخن ويرتفع الى الاعلى في المجمع الشمسي ويجري الى دورة السيفون الحراري نتيجة لاختلاف الكثافة بين الاجزاء الحارة والباردة في المنظومة.

المائع الحار يترك المجمع الشمسي وهناك صمامات للسيطرة وهي اما ان تسمح للمائع بالتحرك الى وحدة الطبخ او الى الاعلى باتجاه وحدة الخزن. بعد الاستعمال يعود المائع المبرد الى المجمع الشمسي وهنا يكون الطهي داخل هذا النوع اكثر امان من الانواع الاخرى. ان مساحة صفيحة الامتصاص في هذا الطباخ هي 4 م و خزان واحد لخزن الحرارة سعته 50 لتر. ويحتوي على طباخ واحد ذو ثلاثة قدور وفرن واحد وخمسة صمامات سيطرة.



شكل (4-10) : الطباخ الشمسي الغير مباشر.(Silva et al.,2002)

التحليل الحراري

كفاءة الحرارة المحسوسة الموضحة في معادلة (4-1) وتمثل نسبة الطاقة المستخدمة للحرارة المحسوسة لكتلة معينة من الماء الموجود في قدر الطباخ من درجة حرارة الجو الى 95 درجة مئوية وشدة الاشعاع الشمسي خلال الزمن.

$$\eta = \frac{m_w C_p \Delta T_{amb-95}}{A_c \int_0^t G \cdot dt} \dots \dots \dots \quad (4-1)$$

m_w : كتلة الماء (كغم)

C_p : الحرارة النوعية عند ثبوت الحجم (جول/كغم.كلفن)

ΔT : الاختلاف بدرجة الحرارة (°م)

A_c : مساحة المجمع الشمسي (م²)

G : شدة الاشعاع الشمسي على سطح مائل (واط/م²)

dt : الزمن المستغرق في العملية الحرارية (ثانية)

القدرة الحرارية المحسوسة Q_h هي معدل الطاقة المحسوسة المستخدمة لتسخين الماء كما في المعادلة الآتية:

$$Q_h = \frac{m_w C_p \Delta T_{amb-95}}{\Delta t} \dots \dots \dots \quad (4-2)$$

لتقدير كفاءة الغليان والقدرة وعند استبدال الحرارة الكامنة لتبخر الماء بدلاً من الحرارة المحسوسة فان قدرة الغليان هي:

$$Q_b = \frac{m_w h_{fg}}{\Delta t} \dots \dots \dots \quad (4-3)$$

h_{fg} : الحرارة الكامنة للماء (جول/كغم)

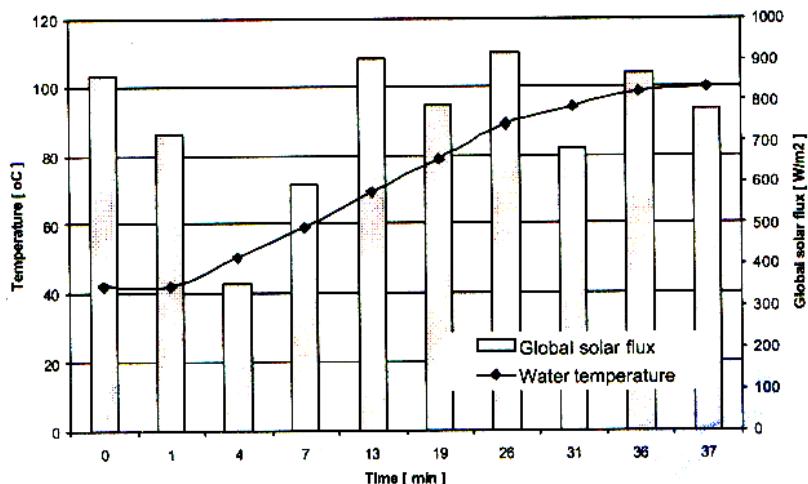
Δt : الزمن المستغرق خلال عملية الغليان (ثانية)

معدل الكفاءة الكامنة يمثل نسبة الطاقة المستخدمة في عملية الغليان الى تكامل الاشعاع الشمسي بالنسبة للزمن وكما هو في المعادلة الآتية:

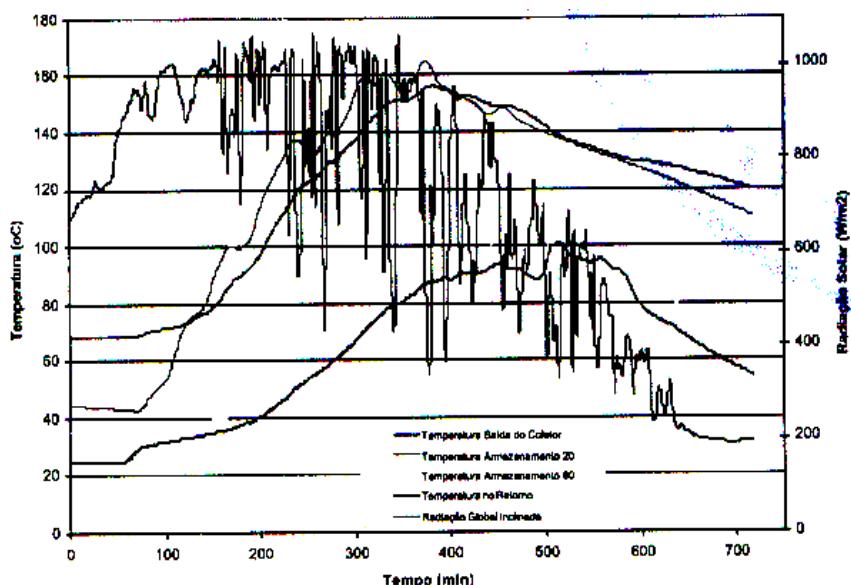
يبين الشكل (11-4) تغير درجة حرارة الماء والطاقة الشمسية خلال التسخين المحسوس . ان معدل قيمة الكفاءة الحرارية المحسوسة هي 0.38 علما ان الكفاءة في اغلب المصادر تتراوح بين 0.30 - 0.34 . ان الزيت الحراري الصناعي استخدم بدلا من زيت الخضروات نتيجة المشاكل المقتنة مع الاخير خلال عملية الفصل عند درجة حرارة 200 درجة مئوية.

ان معدل طاقة الاشعاع الشمسي على سطح المجمع الشمسي المائل وصلت الى 786.1 واط/ m^2 . عملية التسخين تستمر لمدة 32 دقيقة لتسخين 8 كغم من الماء . نفس العملية مع الحرارة من الخزن الحراري تطلب 37 دقيقة.

الشكل (4-12) يوضح البيانات التجريبية التي جمعت خلال عملية التسخين الحراري (خزان الحزن الحراري). ان درجات الحرارة من وقت الشروق الى الغروب . ان كفاءة الحرارة المحسوسة كانت قيمتها اعلى من المتوقع بسبب كفاية الخصائص الحرارية للزيت المستخدم في المنظومة. ان الكفاءة الكامنة يصعب تحديدها بعض الشيء ولكن على العموم وصلت قيمتها الى 0.30 لمعدل شدة اشعاع شمسي على صفيحة مستوية 664 واط/م².



شكل (4-11) : درجة حرارة الماء وشدة الاشعاع الشمسي في الطباخ
الشمسي غير المباشر.

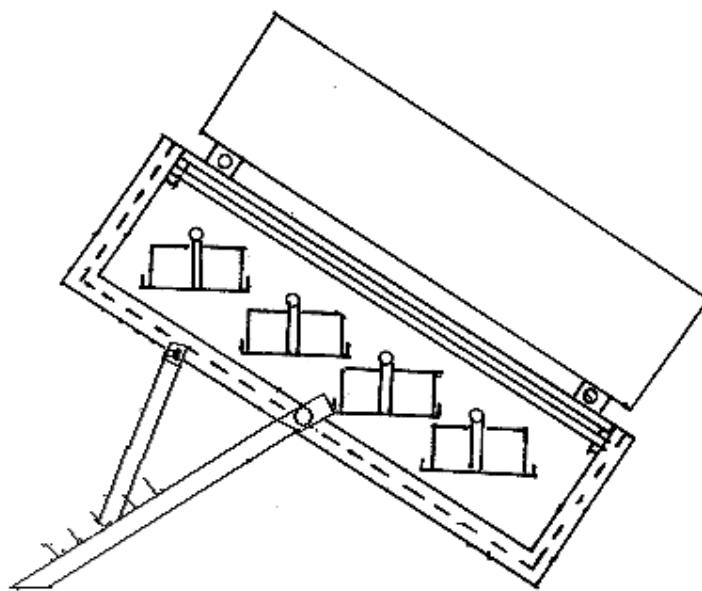


شكل (4-12) : البيانات التجريبية التي جمعت خلال عملية التسخين الحراري (خزان الخزن الحراري).

الطباخ الشمسي نوع الصندوق المائل *Inclined Box - Type Solar Cooker* هو عبارة عن صندوق يوضع بشكل مائل شكل (4-13) ويكون مواجهها للشمس باستمرار من خلال تدويره باليد او بواسطة منظومة تدوير خاصة تحتوي على مراتين لعكس الاشعاع الشمسي بداخل الطباخ كما انه يحتوي ايضا على اطباق معلقة بداخله والتعليق يحافظ على بقاء الطبق بصورة افقية عندما يكون الطباخ مائل لمنع سقوط الغذاء شكل (4-14).



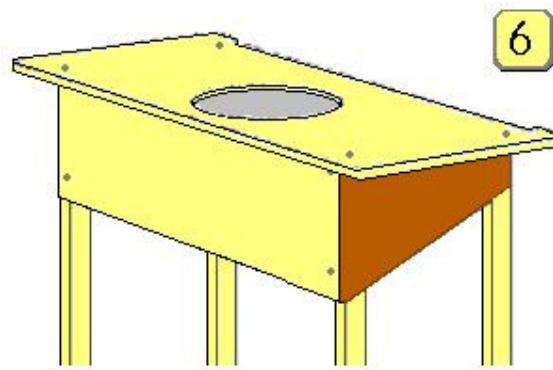
شكل (4-13) : الطباخ الشمسي نوع الصندوق المائل. (Duta, 2000)



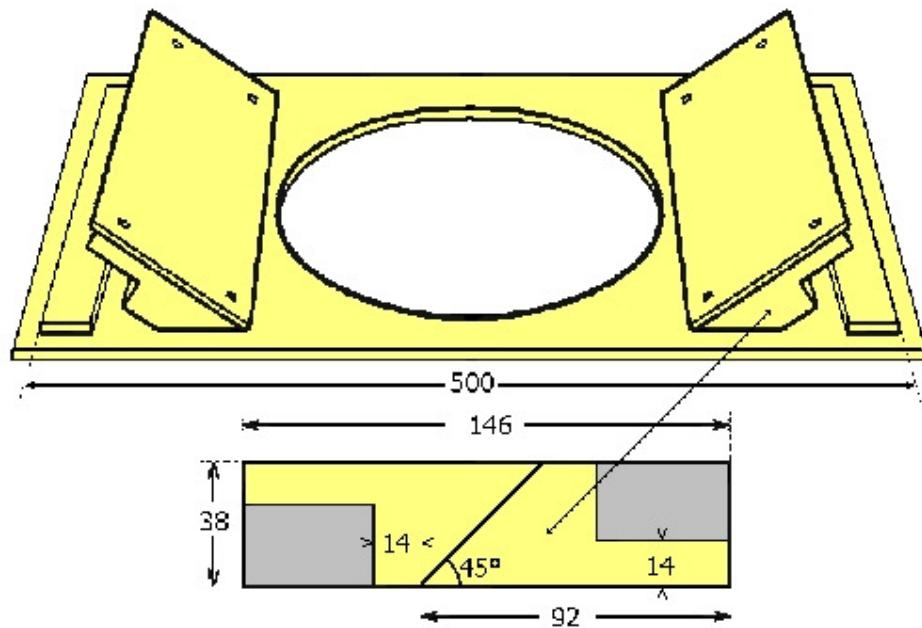
شكل (4-14) : تعليق الأطباق بداخل الطباخ.

اجري اختبار لهذا الطباخ في 3-3-2003 من الساعة العاشرة صباحا ولغاية الساعة الثانية عشر ظهرا عندما درجة حرارة الجو 21 درجة مئوية وشدة اشعاع شمسي 0.55 كيلو واط / m^2 .سا، وصلت درجة حرارة غطاء القدر الى 148 درجة مئوية. طهي 2 كغم من الرز وتطلب ذلك زمن مقداره ساعتين فقط خلال فترة التشغيل من الساعة التاسعة صباحا ولغاية الثالثة عصرا.

هناك نوع اخر من الطباخات الشمسية الذي يستند على مساند عمودية ويكون الطباخ افقي ، اذ يتكون من صندوق معزول من جميع الجوانب ويحتوي في وسطه على فتحة حيث يوضع بداخلها القدر ويكون الفراغ بينه وبين الفتحة لايزيد عن 1 ملم لكي لا يحدث تسرب حراري. اضافة الى ذلك فانه توجد هناك عاكسن لأشعة الشمس موجودتان على جانبي القدر كما في الشكلين (4-15) و (4-16) .



شكل (4-15) : طباخ شمسي ذو مساند عمودية.



شكل (4-16) : أبعاد السطح العلوي من الطباخ الشمسي. (M.S.T., 2000)

هذا الفرن يمكن ان ينتج 100 قطعة من الخبز في الساعة كما انه هنالك تصميم اخر يمكن ان يقوم بتعقيم مياه الشرب هو الفرن الشمسي وكما هو موضح في الشكل

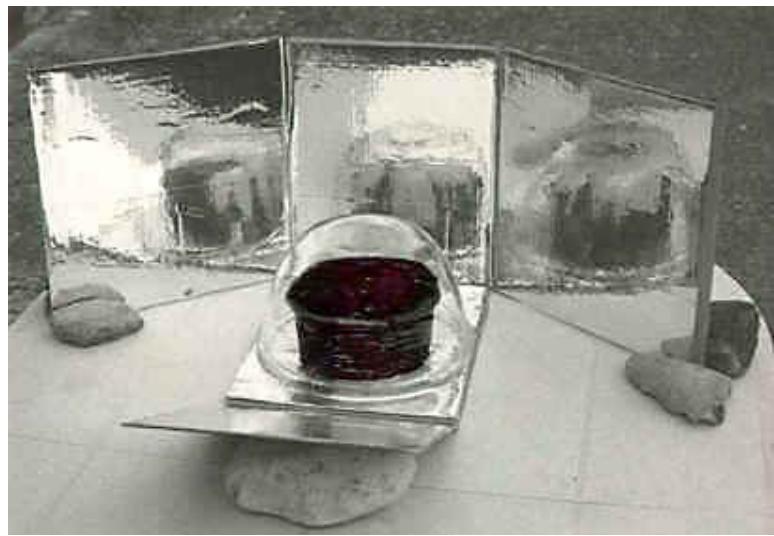
(4-17)



شكل (4-17) : الفرن الشمسي.

طباخ بيرنارد ذو الالواح الشمسية *The Bernard Solar Panel Cooker*

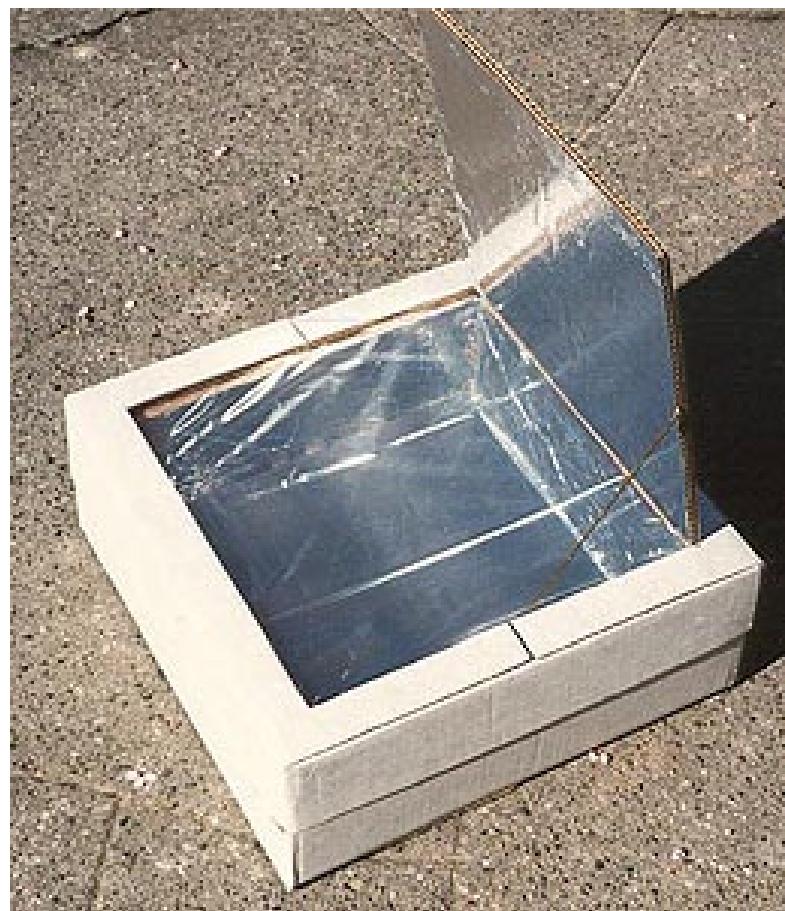
هذا النوع تكون مساحة صندوقه على الاقل $55 * 45$ سم، ويكون من صفائح من الورق المقوى والمثبت عليها طبقة معدنية رقيقة من الالمنيوم . القاعدة تكون افقية ويوضع عليها القدر ذو غطاء اسود ويوضع فوق القدر صحن زجاجي شفاف عميق يغطي كل القدر . توجد ثلاثة صفائح عمودية ذات رقائق معدنية لاماعة ويفاصلها صفيحة اخرى من النوع نفسه مائلة بزاوية امام القدر .وكما مبين في الشكل .(4-18)



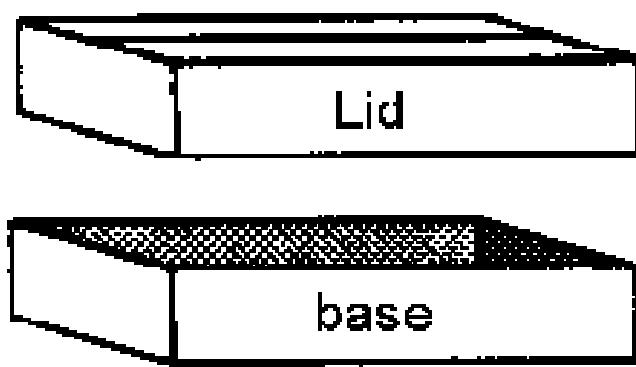
شكل (4-18) : طباخ بيرنارد ذو الالواح الشمسية (Mountain, 2006)

الطباخ الشمسي ذو الغطاء *The Easy Lid Cooker*

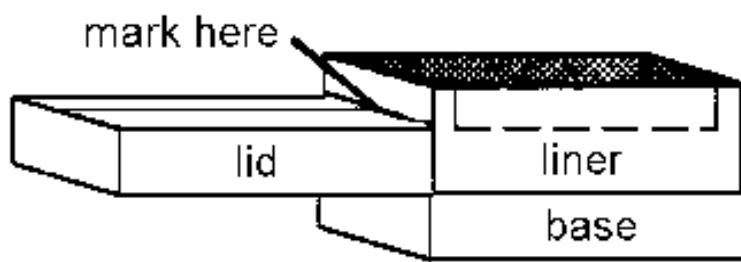
وتبيّن الاشكال من (4-19)-(4-26) طريقة تصنيعه ، وهو يتكون من صندوق يمثل القاعدة ويجد عليه غطاء يحيط به شريط من الكارتون المقوى والأخير يكون جزء منه في القاعدة ، والاضلاع الداخلية مثبت عليها شريط معدني رقيق مصنوعة من الالمنيوم ويوضع صندوق بداخل ذلك الهيكل اجنبه ملفوفة على الشريط المثبت على القاعدة وهذه الاجزاء مثبتة بواسطة مادة لاصقة وبداخل هذا الصندوق صفيحة معدنية سوداء كما انه مزود بعاكس .



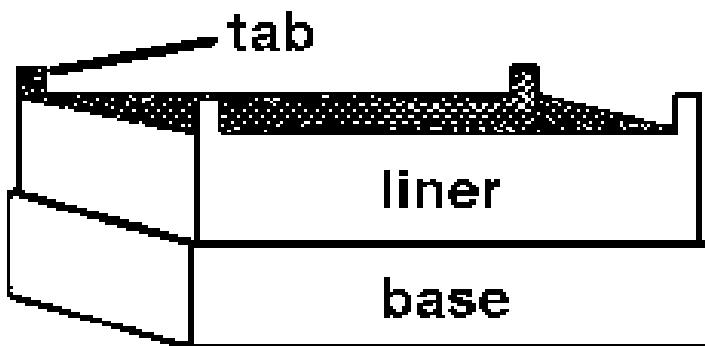
شكل (4-19) : الطباخ الشمسي ذو الغطاء (Tan & Sponheim, 2006).



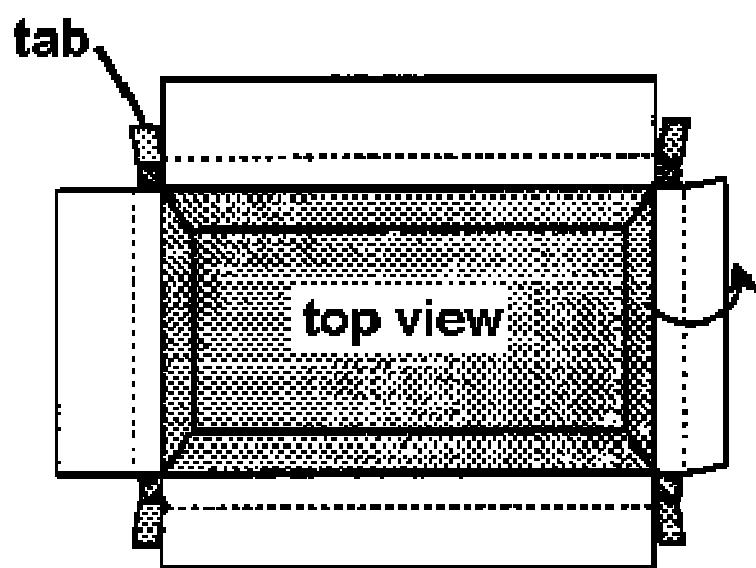
شكل (4-20) : الغطاء والقاعدة



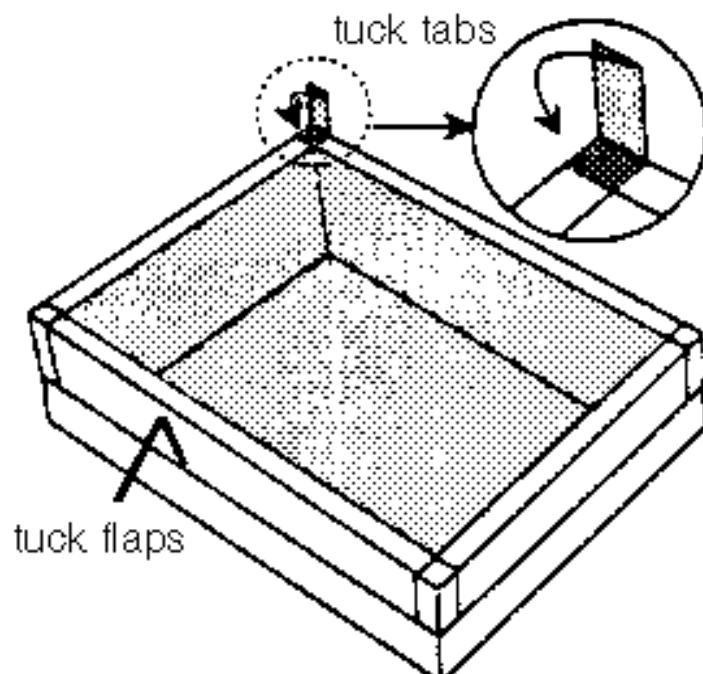
شكل (4-21) : تركيب الغطاء والقاعدة



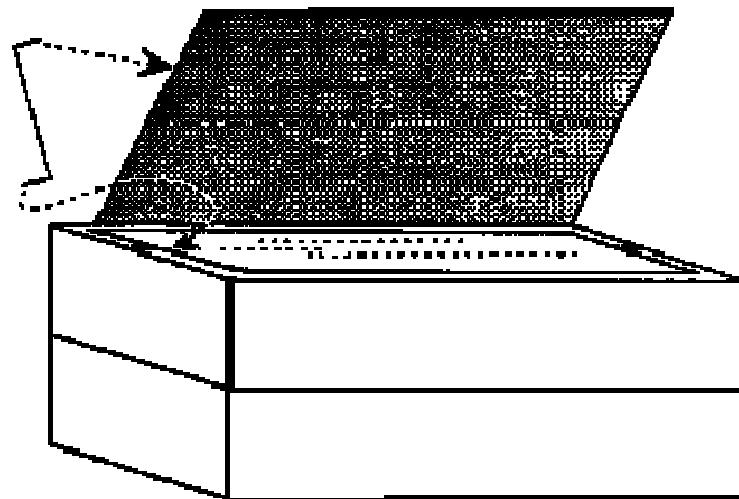
شكل (4-22) : ربطهما معا



شكل (4-23) : منظر علوي



شكل (4-24) : عملية الربط



شكل (4-25) : الطباخ بصورة كاملة.

الطباطب الشمسي ذو الصندوق المفتوح والمزود بعاكس *The Reflective Open Box Solar Dryer*

في هذا التصميم تقليل عدد الألواح الشمسية شكل (4-26) وهذا ادى الى زيادة كفاءة الاسطح العاكسة من خلال السماح للانعكاسات المتعددة بين اللوحان المتبقيان ان الزاوية بين اللوحتين العاكسين كلما قلت كلما كان تركيز الشمس اكبر ، وهذه الزاوية تتراوح بين 60 - 90 درجة. هذا الطباطب ابعاده 46 سم الطول و 32 سم العرض و 42 سم الارتفاع ومساحة الانعكاس فيه هي 5000 سم.



شكل (4-25) :الطباطب الشمسي ذو الصندوق المفتوح.
(A.L.E.D.E.S.,2007).



شكل (4-26) : انواع مختلفة من الطباخات الشمسية.

فرن صندوق البيتزا *Pizza Box Oven*

يتكون هذا الفرن من قاعدة سوداء اللون مصنوعة من البلاستك والسيلوفين وبلاستك شفاف وغطاء والأخير يستعمل كعاكس عند العمل ايضا كما هو مبين في شكل

(4-27)

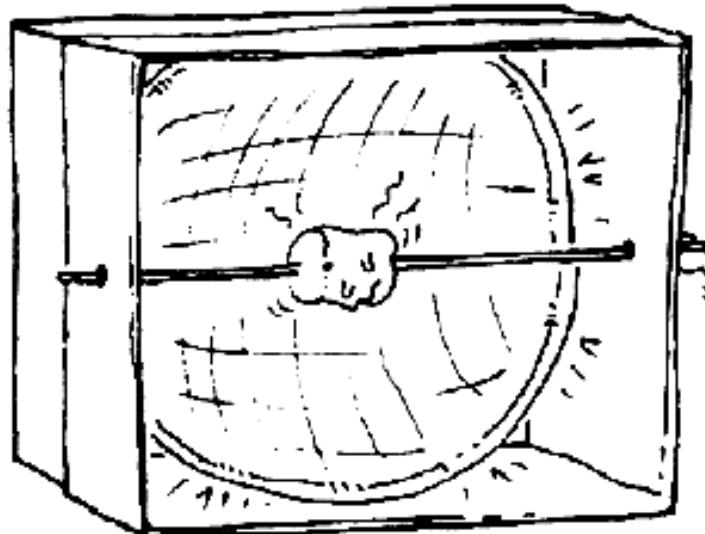


شكل (4-27) : فرن صندوق البيتزا (R.E.S.W., 2004).

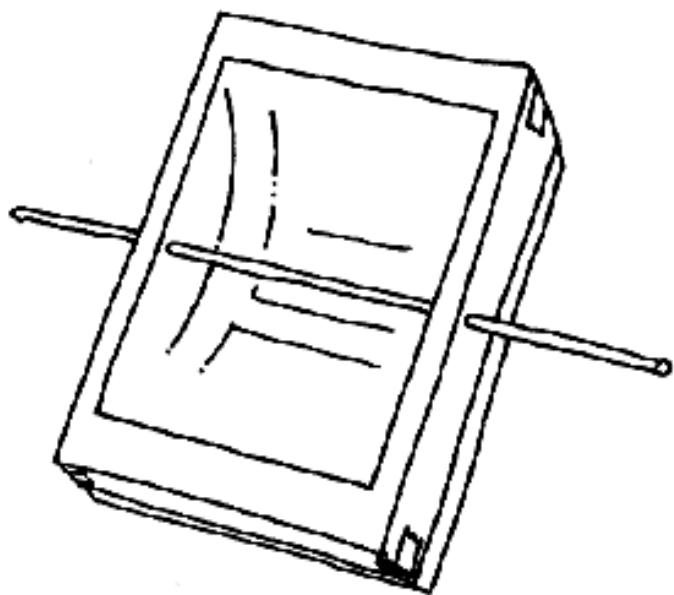
الطبخ ذي الطبق *Parabolic Dish Cooker*

يوضع الطبق المثبت عليه السيلوفين داخل صندوق مثبت على مقدمته سطح زجاجي شفاف ويوضع الغذاء المراد طهيته على عمد يمكن تدويره بين فترة و أخرى حتى تنتقل الطاقة الى جميع جوانبه. كما مبين في شكل (4-28) ويوجد نوع اخر يوضع بدل الطبق شكل بيضوي يسمى

.(4-29) كما مبين في شكل *Parabolic trough cooker*



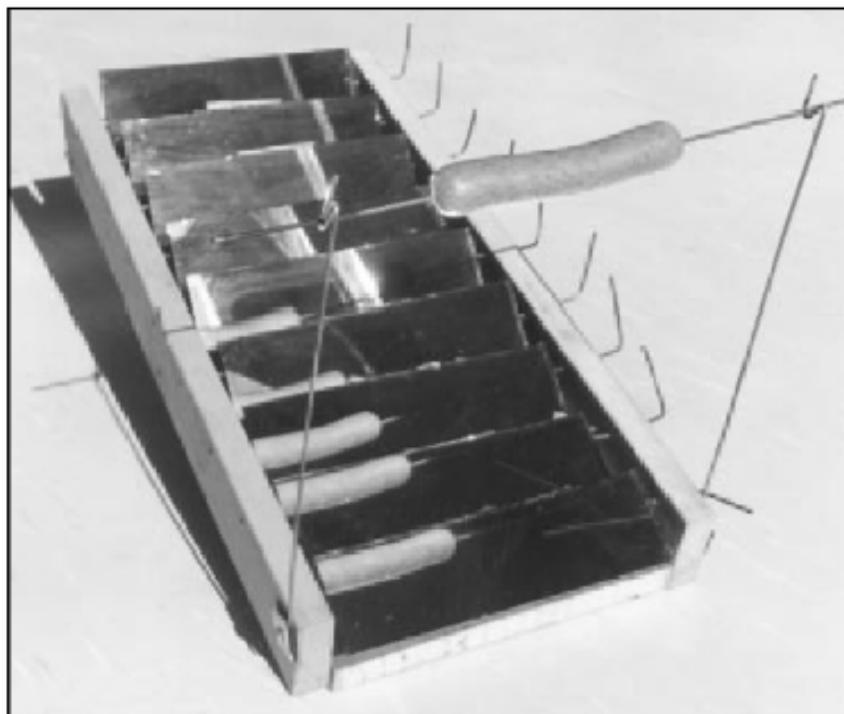
شكل (4-28) : الطباخ ذو الطبق. (R.E.S.W.,2004)



شكل (4-29) : الطباخ ذو الجزء المنحني. (R.E.S.W.,2004)

Solar Sausage Sizzler مقلاة الصوصج الشمسية

ت تكون من قنوات معدنية مثلثة الشكل مثبت على اوجهها الامامية مري موضوعة في صندوق من الخشب. وفي المقدمة يثبت محوران جانبيان يثبتان من الاسفل بواسطة صواميل ومن الاعلى معكوفان بشكل حرف U ويوضع عليه عمود بصورة افقيه يثبت عليه قطعة الصوصج . عندما تسقط اشعة الشمس على المري فتقوم بعكسها على قطعة اللحم وبذلك سوف يتم طهيها نتيجة ارتفاع درجة حرارتها ويمكن تدويرها لتوزيع الحرارة عليها . وكما في شكل (4-30).



شكل (4-30) : مقلاة الصوصج الشمسية. (R.E.S.W.,2004)

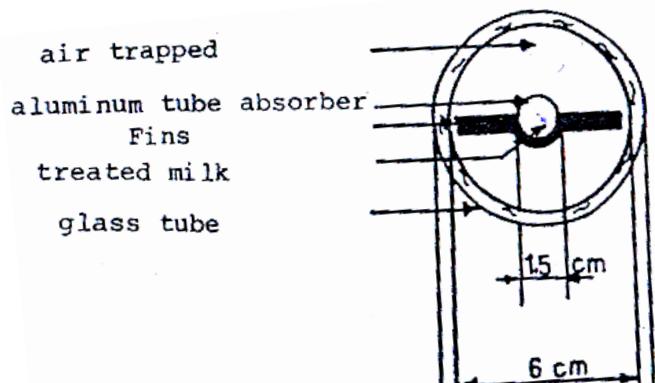
الفصل الخامس

بسترة وتعقيم الأغذية بالطاقة الشمسية

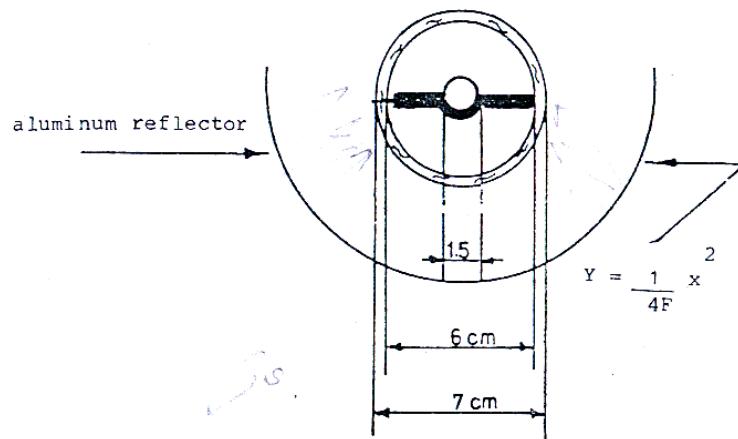
بسترة الحليب بالطاقة الشمسية

يتكون جهاز بسترة الحليب بالطاقة الشمسية من وحدة تسخين ووحدة مسخ ووحدة تبريد ، والمجمع الشمسي من النوع الانبوي المركز قطر الانبوب الخارجي 1.5 سم مصنوع من الالمنيوم ومطلي بلون اسود ومزود بزعانف عددها اثنان ملحومة عليه طول الواحدة 3 سم لغرض زيادة انتقال الحرارة الى الحليب الذي يجري بداخل الانبوب شكل (1-5). ان كل من الانبوب والزعانف كانت محاطة بانبوب زجاجي قطره 7 سم لغرض تقليل الفقدان الحراري.

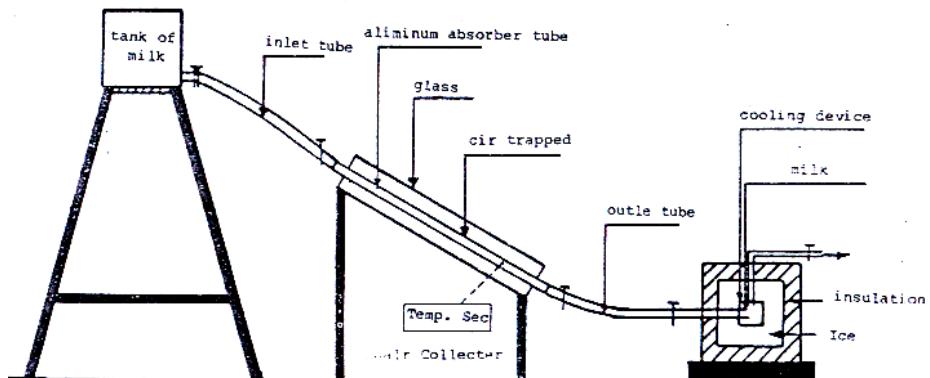
الهواء المحجوز بين الزجاج والزعانف يعمل كعازل . ولغرض زيادة تركيز الاشعاع الشمسي على الانبوب والزعانف وضع عازل على شكل نصف دائرة مصنوعة من الالمنيوم حول الانبوب بحيث وضع الانبوب في موقع البؤرة شكل (2-5) . هنالك خزان للحليب موقعه اعلى من المجمع الشمسي الانبوي والاخير مائل بزاوية 30 درجة . منظومة التبريد معزولة حراريا وتحتوي على الثلج.



شكل (1-5) : مقطع للمجمع الشمسي الانبوي المفرغ
لبسترة الحليب. (Razzak et al., 1985).



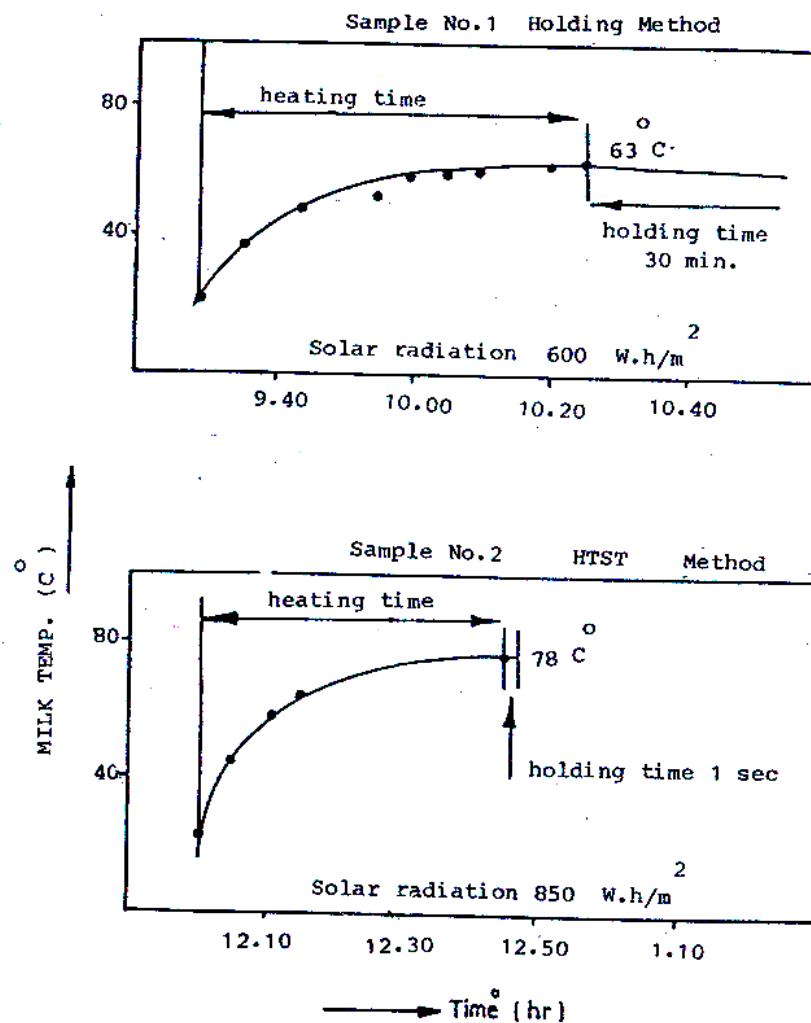
شكل (5-2) : مقطع للمجمع الشمسي الانبوي المفرغ لبسترة الحليب ذو مركز شمسي.



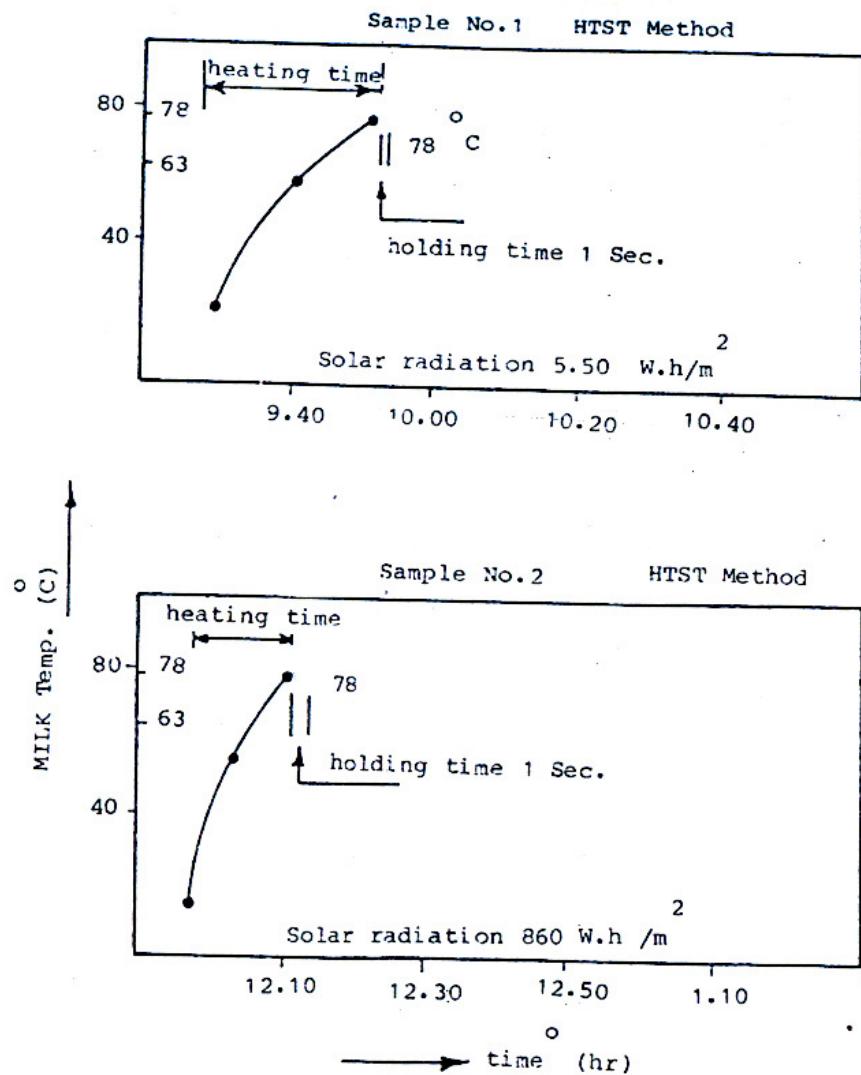
شكل (5-3) : جهاز بسترة الحليب بالطاقة الشمسية.
(Razzak et al., 1985)

ووجد ان طاقة الاشعاع الشمسي عند الصباح كان مقدارها 500 - 600 واط.سا/ m^2 وكانت عند الظهيرة 800 - 850 واط.سا/ m^2 . تطلب الزمن اللازم لبسترة الحليب على درجة حرارة 63 $^{\circ}C$ من 50 - 55 دقيقة عند الصباح ، بينما عند الظهيرة وصلت الى 78 $^{\circ}C$ خلال 40 - 45 دقيقة . وعندما استعمل المركز الشمسي للجهاز وجد ان درجة حرارة الحليب وصلت الى 78 $^{\circ}C$ خلال 20 - 25 دقيقة عند الصباح

اما عند الظهير فقد تطلب زمن مقداره 10 - 11 دقيقة للوصول الى نفس الدرجة الحرارية. ويوضح جدول (1-5) الصفات البكتريولوجية والكيميائية للحليب المبستر بالطاقة الشمسية ويبين ان جهاز البسترة كفؤ بسبب ان انزيم الفوسفتاز قد اعطى اشارة سالبة.



شكل (5-4) : منحنى بسترة الحليب بالطاقة الشمسية
بدون مركز شمسي. (Razzak et al., 1985)



شكل (5-5) : منحنى بسترة الحليب بالطاقة الشمسية
باستخدام مركز شمسي.

جدول (1-5):الصفات البكتريولوجية والكيميائية للحليب المبستر بالطاقة الشمسية. (Razzak et al., 1985)

		اختبار صبغة الميثيلين		العدد الكلي للبكتيريا لكل مل ل عند 37 ° م بعد ساعة		الطريقة	
		الأذنوب الموجب بعد ساعتين		للكولييفورم	كل مل عند 37 ° م	للبكتيريا لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات
		حليب مبستر	حليب طازج	حليب مبستر	حليب طازج	حليب مبستر	بيان مرکرات
-ve		+ve	+ve	+ve	+ve	-ve	+ve
-ve	+ve	+	+	+	+	10 ² *50.2	10 ² *50.08
-ve	+ve	+	+	+	+	10 ⁴ *4	10 ⁶ *3.08
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	16	0	10 ⁴ *4.2	10 ⁶ *5.01
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	طبيعي	طبيعي	10 ⁴ *3.1	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	التحفيف	التحفيف	10 ⁴ *3.1	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	الأذنوب الموجب بعد ساعة	الأذنوب الموجب بعد ساعتين	لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	حليب طازج	حليب مبستر	لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	حليب طازج	حليب مبستر	لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	حليب مبستر	حليب طازج	لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	العدد الكلي للبكتيريا لكل مل عند 37 ° م	بيان مرکرات	بيان مرکرات	بيان مرکرات
-ve	+ve	10 ⁻¹	10 ⁻²	بيان مرکرات	بيان مرکرات	بيان مرکرات	بيان مرکرات

هناك جهاز استخدم لبسترة حليب الماعز بالطاقة الشمسية وباستخدام مركز مخروطي ، يتكون من هيكل مصنوع من عدة اعمدة المنبومية مكونة مخروط عميق اكثراً عمقاً من المركبات التقليدية وهو مستند على الارض ويدور يدوياً لغرض تعقب الاشعاع الشمسي وكما هو مبين في الاشكال من (5-6) الى (5-9) التي

توضح طريقة تصنيع المركز الشمسي . والشكل (10-5) يبين تصميم المراة باستخدام طريقة *image-free concentration* اذ ان الاشعة الشمسية تتعكس من المراة وتصل الى مركز المتص و كل مراة تعكس اليه مجموعة من الاشعة. القطر الكلي للمراة العاكسة هو 169 سم وعمقها 56.6 سم .

اما الجزء المتص المصنوع من الحديد المقاوم للصدأ المطلبي باللون الاسود طوله 19 سم وقطره 11 سم ومحاط بغطاء شفاف اسطواني الشكل مصنوع من الـ *pyrex* قطره 12.5 سم وطوله 20 سم وهو الجزء الخاص بانتاج البخار ويطلق عليه المبخر *boiler* شكل (5-10) طاقته الاستيعابية 2 لتر ماء .

انتاجية هذا الجهاز هي من 10 - 30 لتر باليوم من الحليب المبستر بالطريقة البطيئة .

ومن مكونات الجهاز الاخرى هي حاوية البسترة وهي عبارة عن اسطوانة مصنوعة من الحديد المغلون ومعزولة سعتها 8 لتر من الماء الذي يسخن بصورة مباشرة بالبخار وارتفاع الخزان عن سطح الارض 50 سم . يحتوي هذا الخزان على خزان اخر شكل (5-11) يوضع بداخله الحليب المطلوب بسترته عند درجة حرارة اقل بقليل من درجة حرارة الماء المسخن بفعل البخار . يتكون البخار في المبخر بعد حوالي 10 دقائق من تركيز الاشعة عليه بواسطة المراة ويصل الحليب الى درجة حرارة 65°C بعد مرور 75 دقيقة تقريبا كما في شكل (5-12) ، حيث المنحنى العلوي يمثل درجة حرارة الماء في حوض البسترة ، والمنحنى السفلي يمثل درجة حرارة الحليب المبستر .



شكل (6-6): جهاز بسترة حليب الماعز بالطاقة الشمسية باستخدام المبستر
الشمسي المركز. (Franco et al., 2004).

a



شكل (5-7) : تصنيع الهيكل.

b



شكل (5-8) : ربط العاكسات على الهيكل. (Franco et al., 2004).

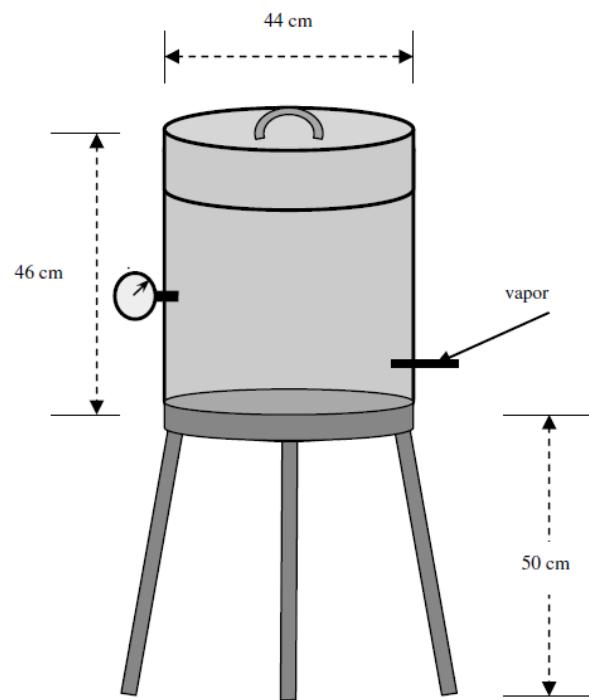
a



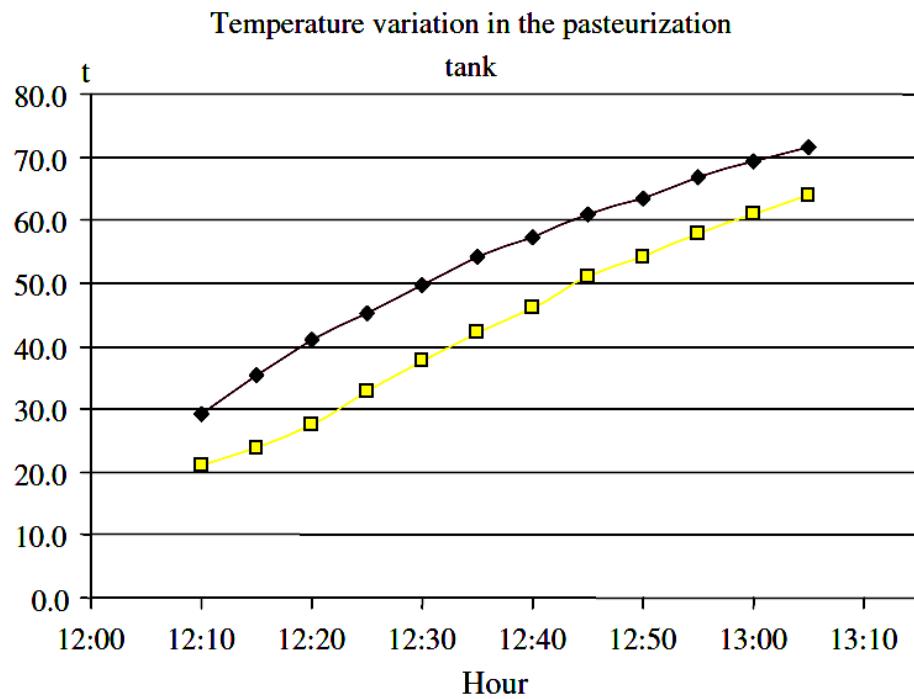
شكل (5-9) : المركز الشمسي بعد التصنيع.



شكل (5-10) : المركز الشمسي التقليدي. (Franco *et al.*, 2004).



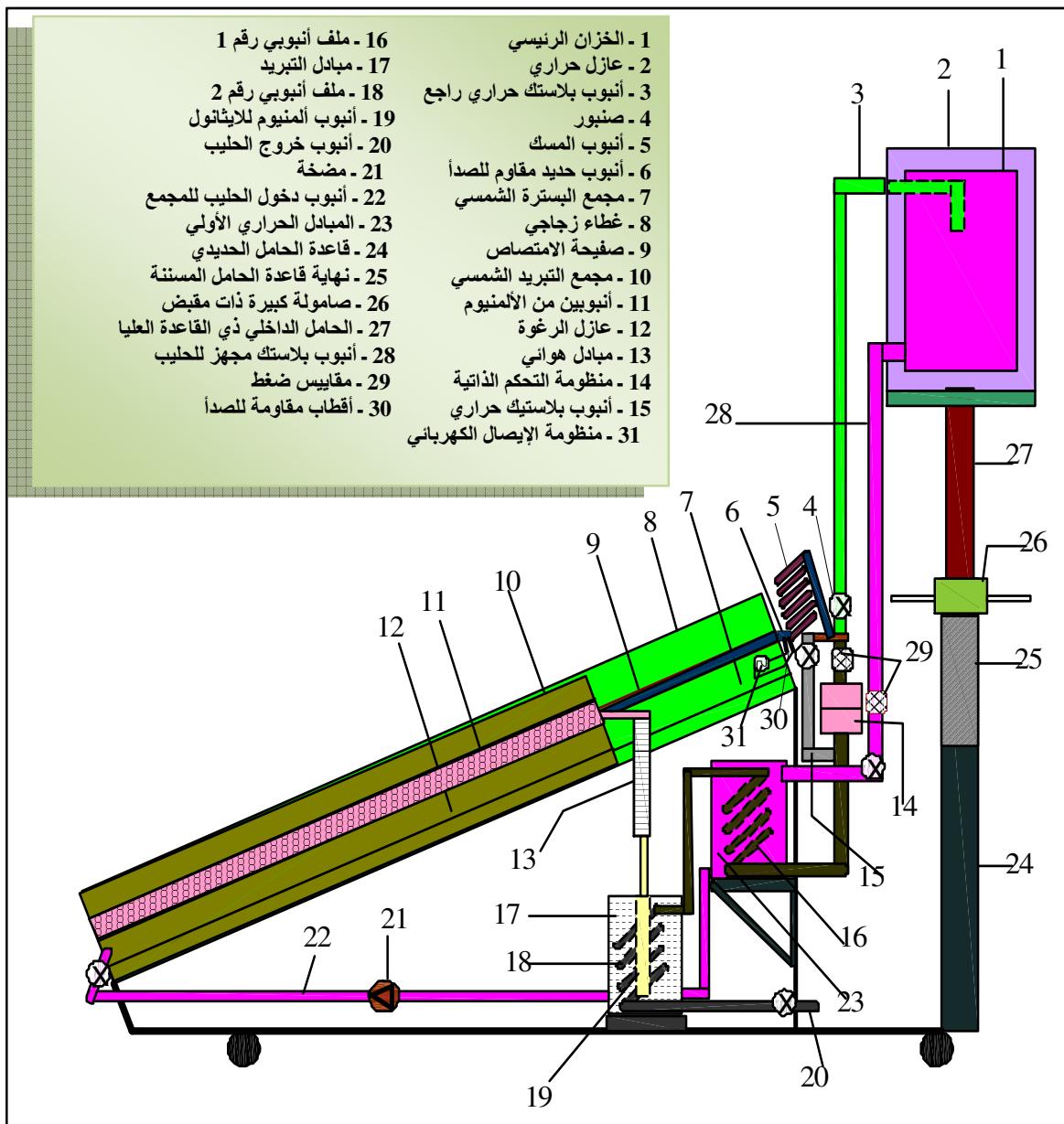
شكل (5-11) حوض بسترة الحليب. (Franco *et al.*, 2004).



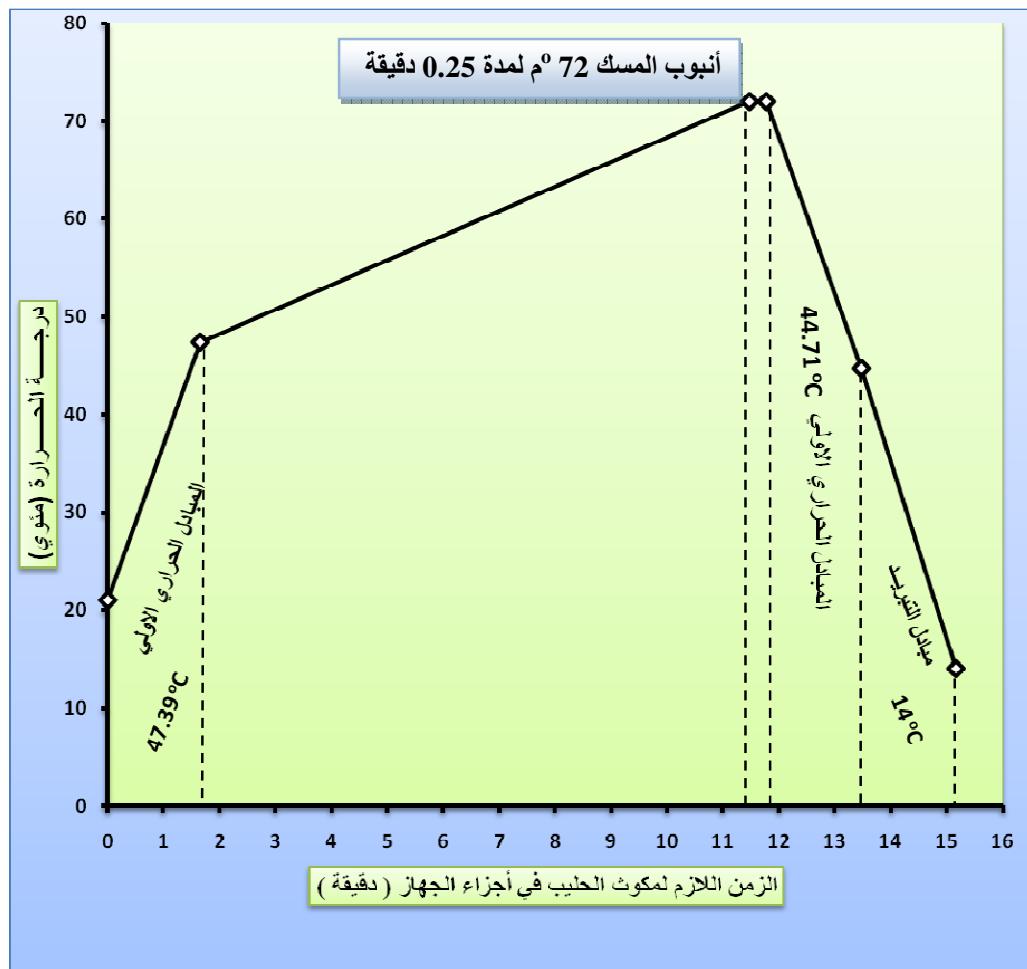
شكل (5-12): درجات الحرارة للماء والحليب خلال ساعات النهار.

هذاك جهاز اخر لبسترة الحليب بالطاقة الشمسية بالطريقة السريعة H.T.S.T. شكل (5-13) يتكون من مجمع شمسي انبوبي لتسخين الحليب وانبوب مسک يعمل على مسک الحليب في الصفيحة لمدة 15 ثانية وصمام تحكم حراري يسمح للحليب بالخروج منه اذا وصلت درجة حرارته الى 72 درجة مئوية ومبادل حراري للتسخين الاولى للحليب ومبادل حراري اخر للتبريد الشمسي مرتبط بمجمع شمسي ذي انبوبان يحتويان على حبيبات السيليكاجل ويتصلان بمبادل حراري اولي هوائي والآخر يتصل مع المبادل بوساطة انبوية تنتهي باسطوانة موضوعة داخل المبادل تحتوي على الميثanol حيث يتبخّر داخل الاسطوانة نتيجة امتصاصه لحرارة الحليب وتقوم السيليكاجل بامتصاصه. وعندما يتعرض مجمع التبريد الى اشعة الشمس فانه يبخر الميثanol من السليكاجل وتتدفع الى المبادل الهوائي حيث يتكتّف الى سائل وينتقل الى الاسطوانة في المبادل الخاص بالتبريد وتستمر العملية.

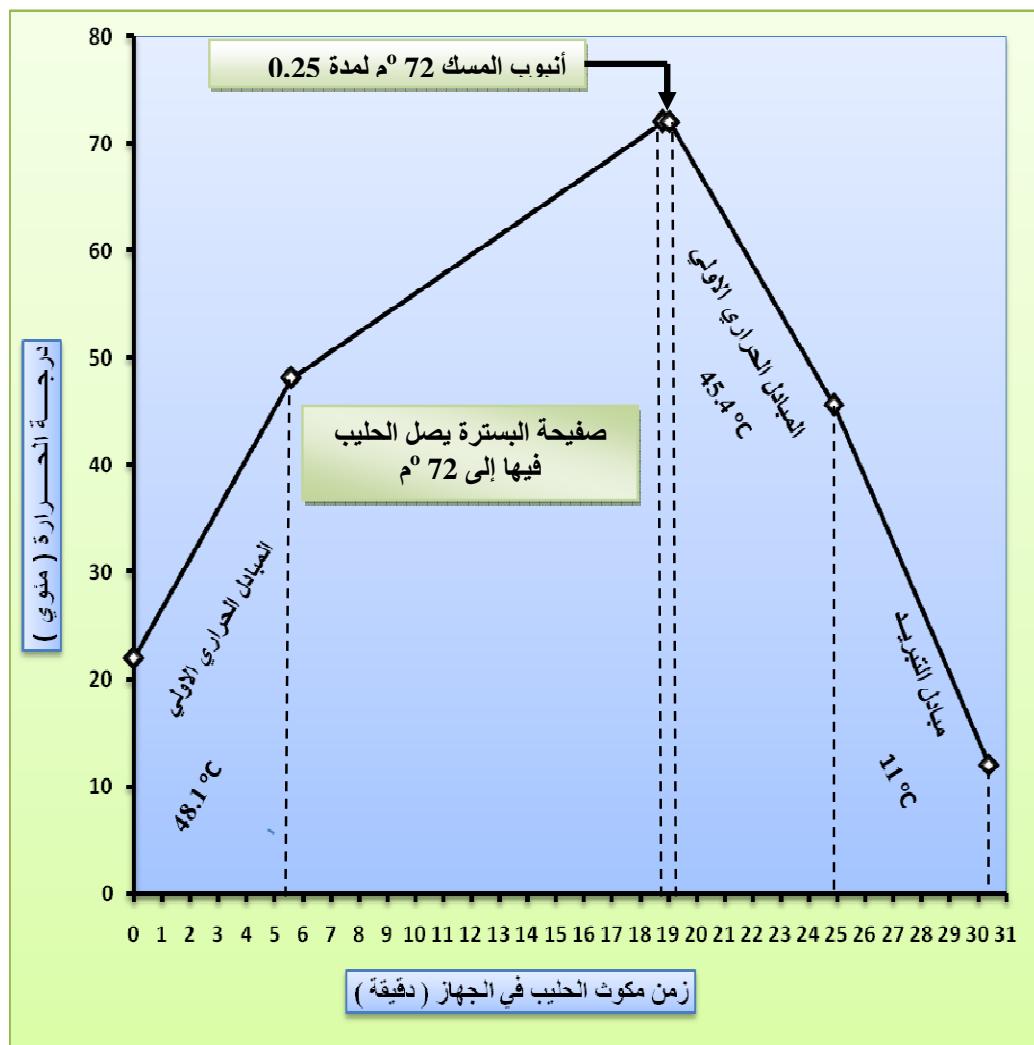
يوضح الشكلان (5-14) و (5-15) تغير درجة حرارة الحليب خلال جميع اجزاء الجهاز في فصلي الصيف والشتاء.



شكل (13 - 5) : رسم تخطيطي لجهاز بسترة الحليب بالطاقة الشمسية .
الربيعى ، 2010



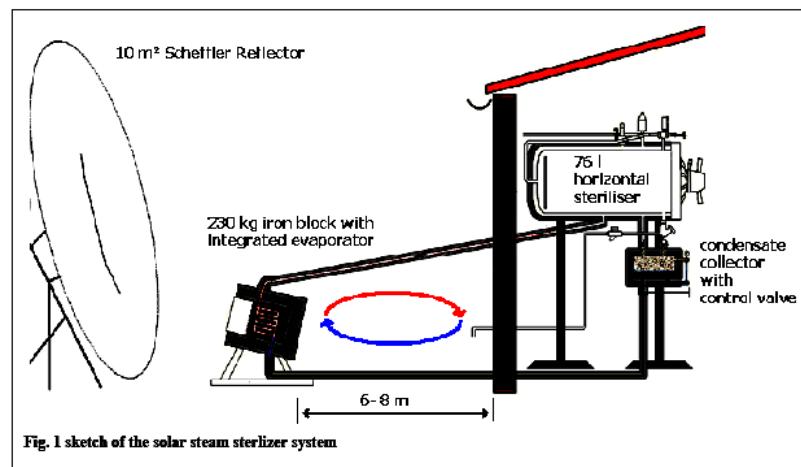
شكل (14 - 5) : العلاقة بين زمن مكوث الحليب ودرجة الحرارة في الجهاز خلال ساعات النهار لأيام مختلفة من فصل الصيف (الربيع ، 2010)



شكل (15 - 5) : العلاقة بين زمن مكوث الحليب ودرجة الحرارة في الجهاز خلال ساعات النهار ل أيام مختلفة من فصل الشتاء(الربيعي ، 2010)

التعقيم بالطاقة الشمسية Solar Sterilization

يوضح الشكل (5-16) مخطط لمعقم تجاري شمسي Solar Steam Sterilizer يتكون من مجمع شمسي يحتوي على كتلة من الحديد وزنها 230 كغم حيث عندما تسخن تصل حرارتها الى اكثـر من 500 °م . هذه الكتلة تبقى ساخنة وبإمكانها تكوين البخار في أي وقت وهي تعمل بطاقة 76 لتر للمعقمات القياسية . كما ان وجود الغيوم لا يؤثر في عمله لأن الكتلة الحديدية تزيد الطاقة الحرارية وبالامكان الاستفادة منها في أي وقت . فالوظيفة الاساسية لهذه الكتلة هي خزن وتجميع الطاقة الحرارية ونقلها الى الماء لغرض انتاج البخار منه . البخار يسير في انبوب معدني يوصل الى معقم محكم الغلق حيث توضع فيه المواد المراد تعقيمتها . ويتصل هذا المعقم مع مكثف يقوم بتحويل البخار الى سائل واعادته الى المجمع الشمسي لغرض استمرار العملية .

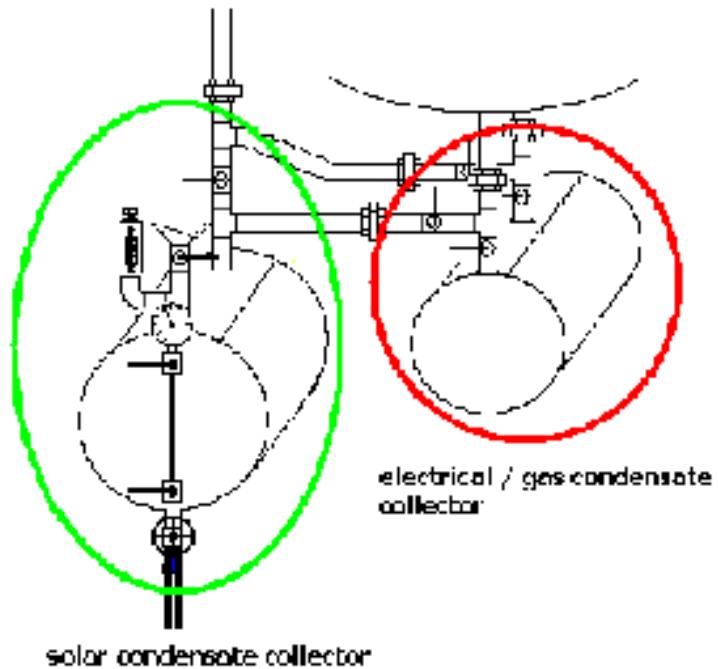


شكل (5-16) : معقم تجاري شمسي. (Tyroller,2005).

في بعض التصاميم تزود المنظومة بسخان كهربائي او غازي يوضع بشكل مجاور للمعقم الاققي ويسمى بالمعقم الشمسي الهجين Solar Hybrid Sterilizer وكما هو موضح بالشكل (5-17) .

السعـة الحرارية النوعـية للحـديد تكون عـالية وبـهذا تـجعل الحـجم المستـخدم لـخـزن الطـاقة قـليل وكـذلك السـطـح وهذا الفـقدان الحرـاري قـليل ، ويـمـكن حـفـظه بـصـورـة كـبـيرـة عـند

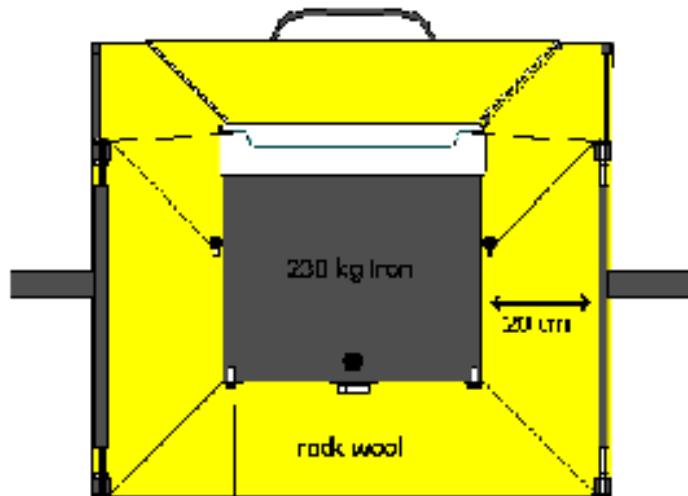
استخدام سمك 200 ملم من العازل من نوع *rock wool* ويحيط بهذه الكتلة المغلفة والمعلقة بواسطة اشرطة من الحديد غير القابل للصدأ .
كذلك الزجاج المقاوم للحرارة يقلل من الطاقة المفقودة بالحمل عند النقطة البؤرية . في الليل فان مساحة الممتص تغلق بغضاء معزول . والشكل (5-18) يوضح الكتلة الحديدية والزجاج في المجمع الشمسي . ويوضح الشكل (5-19) ابعاد الكتلة الحديدية .



شكل (5-17) : مخطط للمعقم التجاري الشمسي . (Tyroller,2005).



شكل (5-18) : الكتلة الحديدية في المعقم التجاري الشمسي.



شكل (5-19) : ابعاد الكتلة الحديدية في المعقم التجاري الشمسي. (Tyroller, 2005).

بدلا من استخدام الكلور والتعقيم باستخدام اشعة الـUV . يتم تسخين الماء الى درجة حرارة 65°م لمدة 6 دقائق او درجة حرارة عالية بزمن قصير وهذا سوف يقتل الجراثيم والفايروسات والطفيليات .

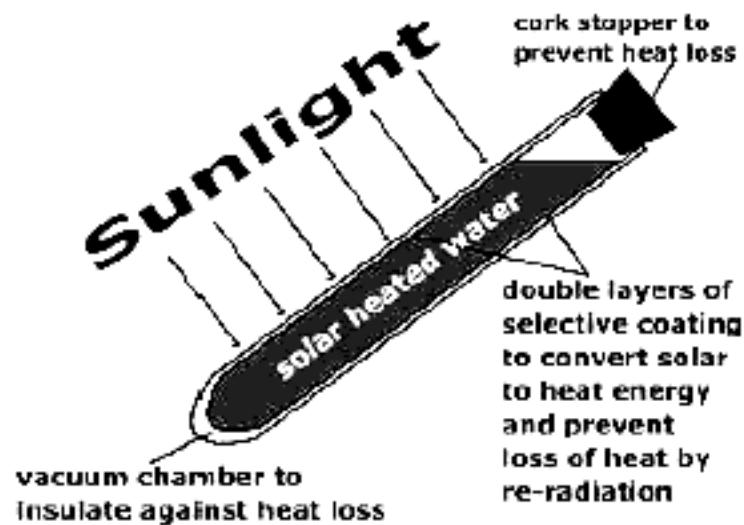
استخدام الانبوب الزجاجي المفرغ الذي يعمل بالطاقة الشمسية *solar vaccum glass tube (svgt)* كما في شكل (5-20) اذ تقوم الطاقة الشمسية ببسترة الماء خلال ساعتين ، وهو جهاز يقوم بتسخين الماء بالطاقة الشمسية . تصنع الانبوبة من الزجاج القوي *pyrex* وهو كفؤ بمقدار 70 % في تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية .

الطاقة الشمسية تخترق الانبوبة الزجاجية الخارجية وتمر خلال الفراغ الذي بينها وبين الانبوبة الزجاجية السوداء اللون والاخيرة تمتص الطاقة الشمسية وتنتقلها الى الماء الموجود بداخليها وتعقمه وتقتل اغلب الاحياء المجهرية الموجودة فيه وكما هو موضح في شكل (5-21) . ان الفراغ يعمل كعازل جيد حيث يمنع تسرب الحرارة من الماء الى المحيط الخارجي وتوضع حلقة من الباريوم فيه تعمل على امتصاص النايتروجين والاوكسجين وذلك لحفظ الطلاء لفترة طويلة .

وتوجد من هذا النوع حجوم كبيرة كما في شكل(5-22) حيث قطره الداخلي 43 ملم والخارجي 58 ملم وطوله 1.2 ملم وزنه 1 كغم ويستوعب 1.6 لتر من الماء . ويوضع هذا المعقم بصورة مائلة اعتمادا على خطوط العرض للمنطقة . هذا النوع يتطلب من 1 - 2 ساعة لغرض رفع درجة حرارة الماء الى درجة الغليان ويمكن ان تصنع لها قواعد من الخشب او أي معدن اخر كما في الشكل (5-22).

هناك معقم يعمل بالطاقة الشمسية هجين شكل (5-23) يتكون من قدر ضغط مزود بصمام امان ومقاييس للضغط يوضع داخل عاكسات تعمل على عكس الاشعة الشمسية باتجاه القدر المطلبي باللون الاسود ، فيسخن الماء الذي بداخله ويت Bhar وتصل الحرارة فيه الى 121°م وضغط مقداره 131 كيلو باسكال لمدة 35 دقيقة ويستخدم لتر واحد . وبذلك يقوم بتعقيم أي مادة توضع بداخله . وفي الحالات التي تكون اشعة الشمس فيها ضعيفة او معدومة فانه يستخدم غاز البروبان لتسخين القدر

وتوليد البخار . وفي هذه الحالة يزال الغطاء الزجاجي من الجهاز . يستخدم هذا الجهاز لتعقيم المعدات الطبية والغذائية وغيرها.



شكل (5-20) مكونات جهاز بسترة الماء بالأنبوب
الزجاجي المفرغ (Yak,2006)



شكل (5-21) بسترة الماء بالأنبوب الزجاجي المفرغ بحجوم مختلفة. (Yak,2006).



شكل (5-22) مجموعة من اجهزة بسترة الماء بالأنبوب الزجاجي المفرغ. (Yak,2006).



شكل (5-32) معقم شمسي هجين.
(Kerr & Scott,2006).

الفصل السادس

التبريد بالطاقة الشمسية Solar Cooling

نظام التبريد بالطاقة الشمسية يشمل ثلاثة أنظمة فرعية هي نظام تحويل الطاقة الشمسية ونظام التبريد وحمل التبريد . الدورة المناسبة من تلك الأنظمة تعتمد على طلب التبريد والقدرة ودرجة الحرارة للتبريد بالإضافة إلى الظروف البيئية. والشكل (6-1) يوضح عدد الطرق الممكنة لاستغلال الطاقة الشمسية لغرض الحصول على التبريد. يبين الشكل أنه توجد طريقتين لتحويل الطاقة الشمسية وهي المجمعات الحرارية الشمسية وخلايا PV لانتاج الطاقة الكهربائية. وفي المجمعات الحرارية الشمسية يوجد أنواع مختلفة من المجمعات تنتج درجات حرارية مختلفة وهذا يبين بأن مستويات درجات الحرارة تحدد نوع الدورة المطلوبة فمثلاً دورة Rankin تتطلب درجات حرارة عالية بينما دورات التجفيف تتطلب درجات حرارة واطئة لتجهيز الحرارة

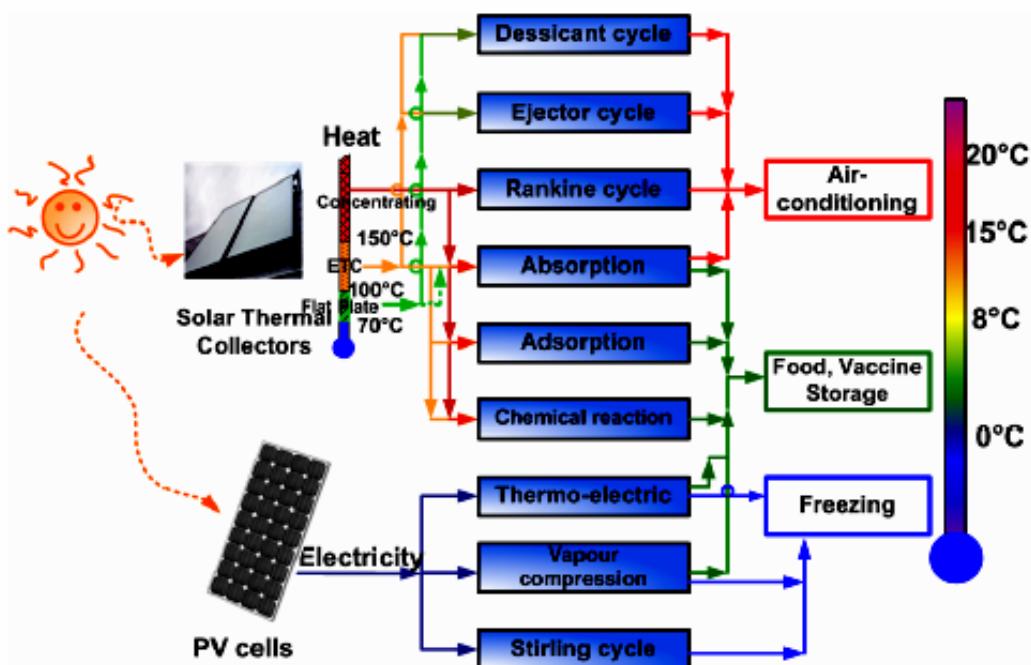
هناك عدة دورات نموذجية تستعمل الماء كمائع تشغيل ولا تعطي درجات حرارة تحت الصفر مئوي مثل دورات التبريد - هواء الحرارية الشمسية تعتمد على دورات الامتصاص والامتزاز دورة Duplex Rankine ودورات التبريد بالتجفيف ودورات التبريد الطاردة.

عند استخدام تطبيقات تتطلب درجات حرارة منخفضة لخزن الأغذية عند 8- 0°C فهناك دورات مختلفة يمكن تطبيقها لهذا المجال مثل دورة انضغاط البخار والدورة الكهروحرارية دورة الامتصاص ودورة الامتزاز او دورة التفاعل الكيميائي . بينما التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة أقل من الصفر مئوي يجب أن تكون غرفة الخزن او التجميد صغيرة مثل صندوق التجميد freeze box والدورة الملائمة لذلك هي دورة انضغاط البخار والتي تعتمد على خلايا PV او دورة التحرير المعتمدة على خلايا PV (PV-driving stirling cycle) . كذلك يمكن استخدام دورة الامتصاص المشتركة ودورة الامتزاز ودورة التفاعل الكيميائي وخصوصاً للمخازن ذات الحجم الكبير مثل انتاج الثلج.

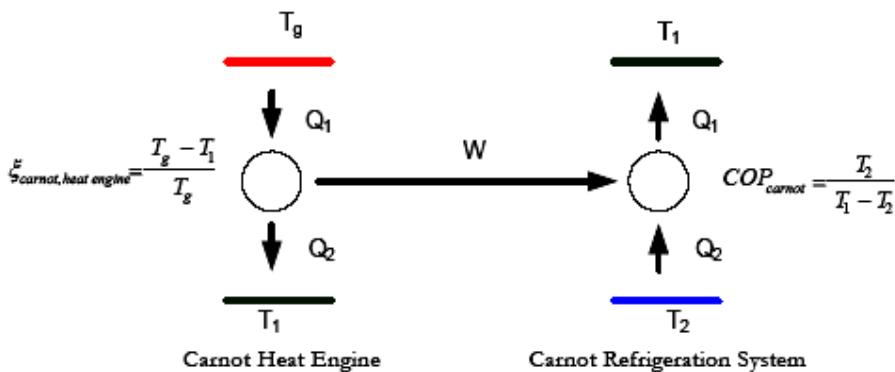
كفاءة دورة التبريد التي تعمل بالكهرباء والناتجة من خلايا PV عالية الى حد ما ولكنها تحتاج الى خلية صوتية وبطاريات وهذه تعتبر مكلفة. اما الدورة التي تعمل بالحرارة فهي اقل كفاءة ولكن المجمعات الشمسية الحرارية قد تصل الى كفاءة تحويل عالية اعلى من خلايا PV.

كفاءة منظومات التبريد الشمسي

في حالة المحرك الحراري المثالي والمبرد تستخدم دورة كارنوت Carnot Cycle . اداء دورة محرك كارنوت الحرارية التي تشمل دورة كارنوت للتبريد وتكتب كفاءة كارنوت ومعامل الاداء - كارنوت كالتالي:



شكل (1-6-1): طرق استغلال الطاقة الشمسية للحصول على التبريد.



$$COP_{Carnot} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\eta_{carnot} = \xi_{carnot,heat_engine} \cdot COP_{carnot}$$

$$\eta_{carnot} = \left(\frac{T_g - T_1}{T_g} \right) \cdot \left(\frac{T_2}{T_1 - T_2} \right)$$

للمنظومات التي تعمل بخلايا PV فان كفاءة محرك كارنوت البسيط تصبح :

$$\eta_{system,el} = COP_{el} \times \eta_{PV}$$

لمنظومات التبريد التي تعمل بالطاقة الشمسية يتم حساب النسبة الحرارية للمنظومة كالاتي : system thermal ratio

$$STR = \frac{Q_e}{G \cdot A} = \frac{Q_e}{Q_g} \times \frac{Q_g}{G \cdot A} = COP \times \eta_{sc}$$

ان مصطلح نسبة الطاقة الشمسية *solar fraction* ملائم للبرهنة على الفعالية الكلية للمنظومة ، وهو النسبة بين الطاقة الشمسية الكلية المستخدمة الى الطاقة الكلية المستخدمة في المنظومة.

منظومات الدورة المفتوحة بالطاقة الشمسية

ان منظومات الدورة المفتوحة للتبريد التي تستخدم الطاقة الشمسية تعد واحدة من اوسع الوسائل انتشارا لاغراض تكييف الهواء وخاصة في المناطق الرطبة في العالم ، حيث تعتمد هذه المنظومات على عمليتي التجفيف والترطيب للحصول على هواء

مكيف. تجهز هذه المنظومات بالهواء المعامل (الهواء المراد تبريده لتكيف الحيز) من المحيط او من داخل الحيز المكيف نفسه. وتزال رطوبة هذا الهواء بوساطة مادة تجفيف سائلة اوصلبة. وفي عملية التجفيف ترتفع درجة حرارة الهواء المعامل بسبب تحول حرارته الكامنة الى حرارة محسوسة ولذلك يمرر الهواء المعامل بعدها الى مبادر حاري لانتزاع حرارته وتبریده الى حد معين. وبعد عملية التبريد المحسوس يبرد الهواء المعامل تبخيريا في مبرد تبخيري مناسب حيث يخرج منه بظرف ملائم لتجهيزه الى حيز مكيف . ولاستمرار عمل المنظومة يعاد تنشيط مادة التجفيف بوساطة تيار هواء ساخن مجهز من مجمع شمسي وسخانات مساعدة. ولذا فان المكونات الاساسية للمنظومة هي ، مزيل الرطوبة ومبادل حاري ومبرد تبخيري ومجمع شمسي.

بعد المجمع الشمسي اداة تجهيز الطاقة الحرارية للمنظومة احد اهم اجزاؤها ، ويكون في غالب الاحيان سخان هواء شمسيا وذلك للاستفادة من الهواء الساخن ليس فقط لاعادة تنشيط مادة التجفيف وانما لتدفئة الحيز شتاء بالهواء الساخن مباشرة . اما مزيل الرطوبة فيقوم بانتزاع بخار الماء من الهواء المعامل بوساطة مادة تجفيف مناسبة ثم يطرح بخار الماء من مادة التجفيف الى تيار هواء خارجي ساخن . ومن هنا فقد سميت هذه المنظومة بالدورة المفتوحة. وتمتاز هذه المنظومات بان درجة حرارة الهواء المعامل المجهز الى الحيز المراد تكييفه اعلى من درجات حرارة الهواء المجهز من مكيفات الهواء الميكانيكية . لذا يتطلب الامر توفير معدلات تدفق للهواء اكبر لازالة حمل تبريد معلوم.

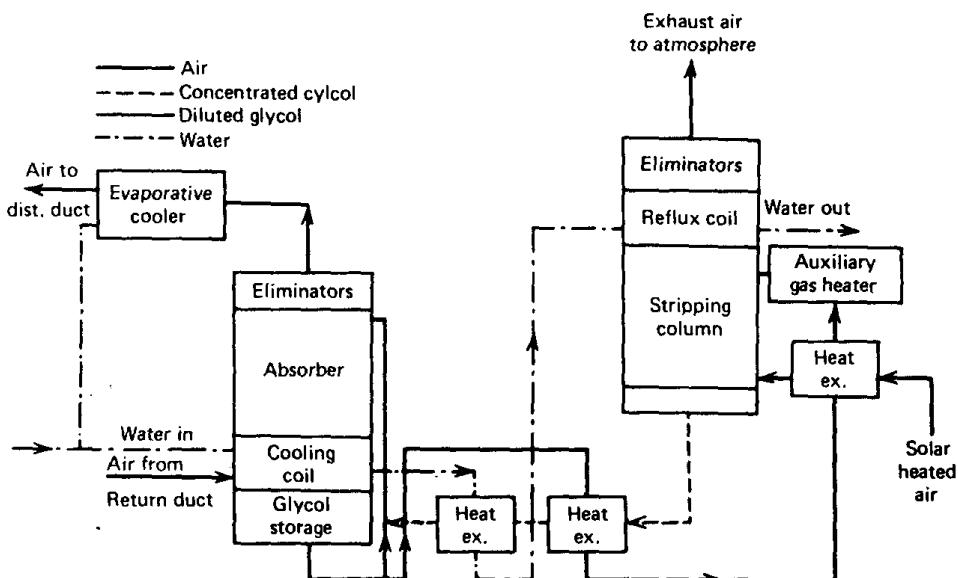
تصنف منظومات التبريد المفتوحة بالطاقة الشمسية المستخدمة الى نوعين هما منظومات الامتصاص المفتوحة وتستخدم مواد تجفيف سائلة ومنظومات الامتزاز المفتوحة وتستخدم مواد تجفيف صلبة.

1- منظومات الامتصاص المفتوحة

ان اول من استخدم مادة التجفيف السائلة في منظومات التبريد الامتصاصية المفتوحة هو *Lof* في عام 1955 . وقد استخدم الطاقة الشمسية في تشغيل المنظومة ويبين الشكل (6-2) مخططها المنظومة التي اقترحها . وقد استخدم مادة تجفيف سائلة هي غليكول الايثيلين *Ethylene Glycol* . حيث رذذ غليكول الايثيلين المركز

في تيار الهواء المعامل فيمتص بذلك غليكول الأثيلين بخار الماء من الهواء المعامل . يضخ غليكول الأثيلين المشبع بالماء بعد ذلك خلال مبادل حراري لرفع درجة حرارته ، ثم يردد في عمود تجريد *Stripping Column* وفي تيار هواء مسخن شمسيًا . وبعد ارتفاع درجة حرارة غليكول الأثيلين يتحرر بخار الماء منه إلى تيار الهواء الساخن ليطرح إلى المحيط الخارجي . واما غليكول الأثيلين الذي أصبح مركزاً فيمرر خلال مبادل حراري لخفض درجة حرارته وبذلك تتم دورة تجفيفية كاملة . تستعمل الواح اعتراضية لتخلص تيار الهواء المجهز للحيز من رذاذ غليكول الأثيلين . وكانت اهم المشاكل التي واجهتها المنظومة هي تسرب مادة غليكول الأثيلين إلى الحيز المكيف .

قام *Johannsen* بتطوير منظومة *Lof* وذلك باعادة تشغيل مادة الامتصاص وهي محلول غليكول الأثيلين الضعيف التركيز والمشبع بالماء في مجمع شمسي قام مقام اعمدة التجريد في الوقت ذاته . وتم ذلك بامرار محلول بتماس مباشر مع سطح تجميع الطاقة الشمسية حيث يفقد رطوبته بصورة مباشرة إلى هواء المحيط الخارجي الذي يمر خلال المجمع الشمسي .



حيـ شـكـل (2-6):منظـومةـ التـبـريـدـ الـامـتصـاصـيـةـ المـفـتوـحةـ (منظـومةـ Lofـ). اـمـتصـهـ منـ الهـوـاءـ المعـالـمـ.

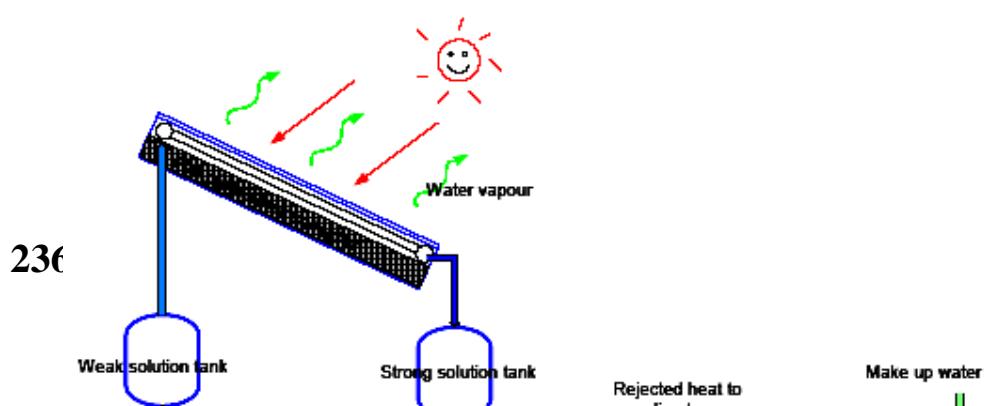
وقد اقترح *Robinson* منظومة امتصاص مفتوحة تستعمل فيها مادة امتصاص سائلة لازلة رطوبة الحيز المكيف . اما حرارة الحيز المحسوسة فتمت ازالتها بماء بئر بارد ، درجة حرارته بحدود 17°C . وكانت المنطقة التي استخدم فيها تلك المنظومة ذات ابار وفيرة. ولذا فان المنظومة لاتصلح للمناطق التي لا تتوفر فيها مياه جوفية باردة.

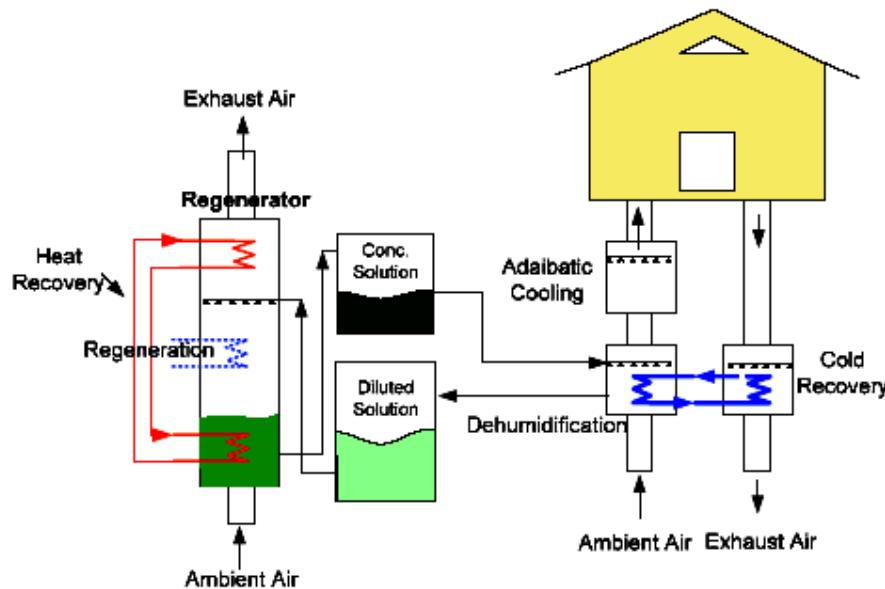
دورة الامتصاص المفتوحة The Open Absorption Cycle

تتميز هذه الدورة بانها لا تحتوي على مكثف وانما محلول الامتصاص الضعيف يعاد تركيزه بواسطة عملية التبخر في المجمع الشمسي . محلول يسخن لحين تبخر الماء منه ويزداد ضغط بخار سائل التبريد وتركيز محلول الماص . محلول الامتصاص القوي يجمع في خزان قبل وصوله الماص . يستخدم الماء كوسط تبريد و CaCl_2 او LiBr او LiCl يستخدم كماص والشكل (6-3) يوضح هذه الدورة.

تقنية التجفيف السائلة

هنا لك تصميم آخر لمنظومة التبريد باستخدام مواد تجفيف سائلة مع نظام لخزن الطاقة . مزيل رطوبة الهواء مبرد بواسطة مبخر الماء لغرض اعطاء درجة حرارة مرغوبة ينشط محلول الضعيف ليكون محلول قوي قبل ان يعاد استخدامه في ازالة الرطوبة واستخدمت الطاقة الحرارية من المجمع الشمسي لعملية التنشيط كما في شكل (6-4).

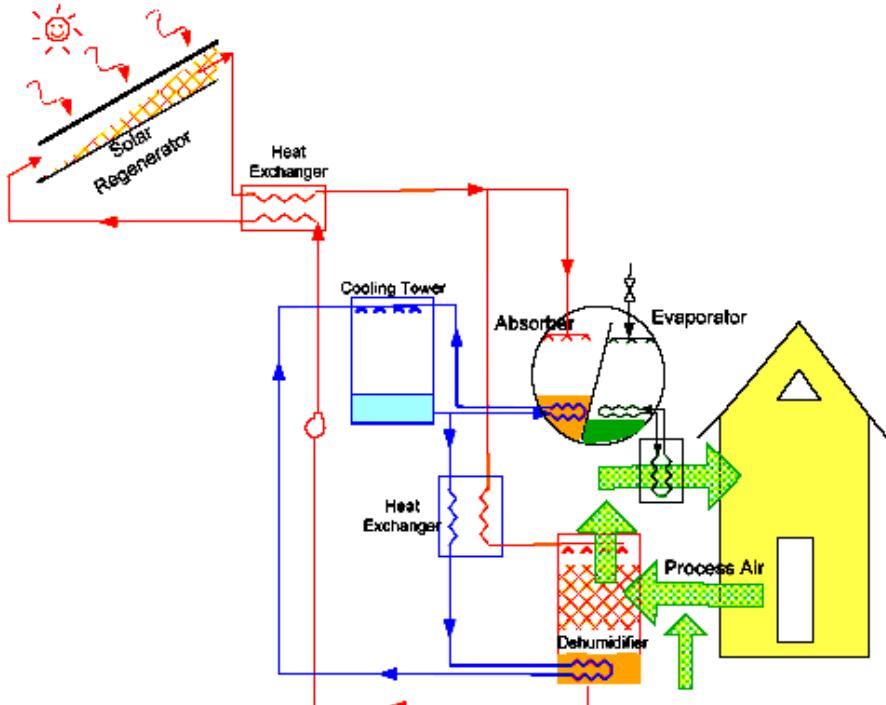




شكل (6-4): دورة الامتصاص المفتوحة مزودة بنظام لخزن الطاقة. (Kessling *et al.*, 1998).

استخدم بروميد الليثيوم في منظومة تكييف هواء هجينة . حيث مادة التجفيف تنشط بواسطة مجمع شمسي مفتوح ذي صفيحة امتصاص مستوية وبينت النتائج معدل الجريان الكتلي لمادة التجفيف خلال المنشط الشمسي حوالي 30 كغم اسا.م²

ودرجة حرارة الجو 40°C . كما في شكل (6-5).

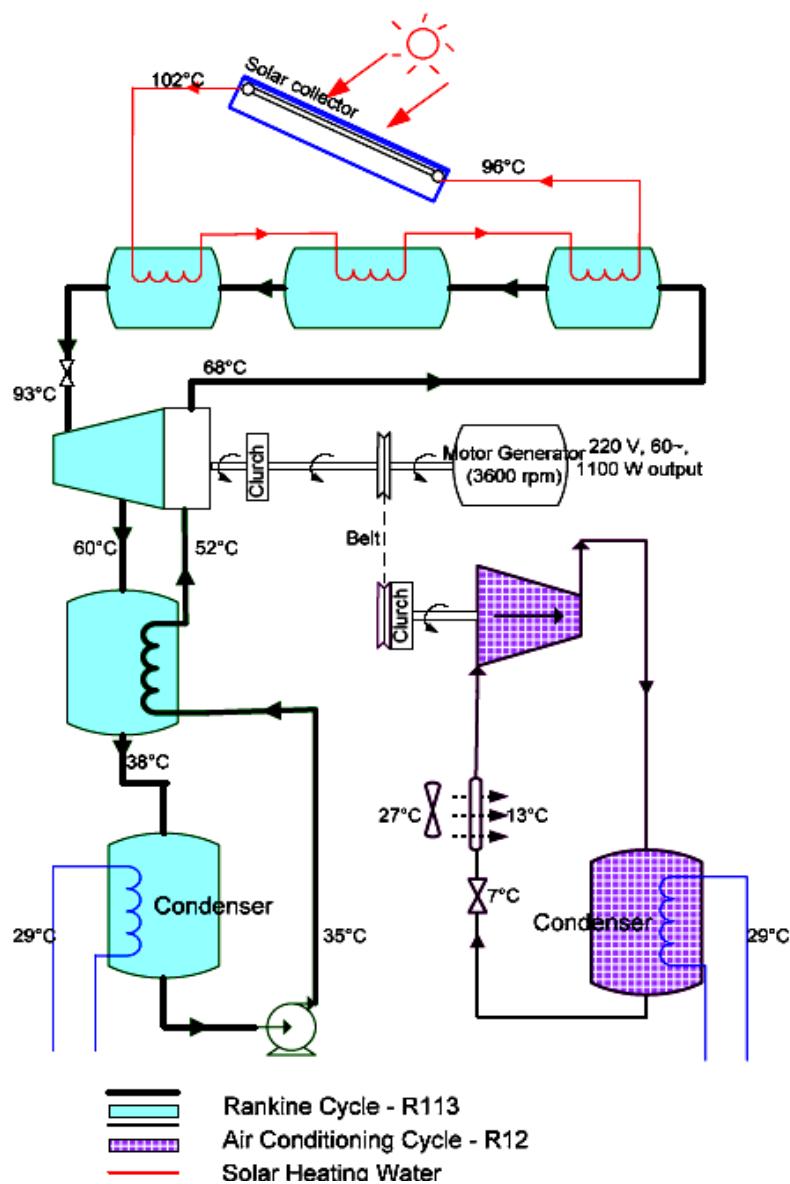


شكل (6-5): دورة الامتصاص المفتوحة مزودة بنظام لخزن الطاقة.

(Gandbidasan et al., 1998)

منظومة دبلكس - رانكайн للتبريد الشمسي *solar – driven Duplex – Rankine Refrigeration system*

وهي عبارة عن دورة رانكайн ودورة التبريد بانضغاط البخار توضع سوية وتسمى *Duplex – Rankine Refrigeration system*. تستخدم هذه المنظومة ضغط البخار العالي لتدير التوربين في دورة الطاقة . الشغل الناتج من التوربين يعمل على تشغيل الضاغط في دورة التبريد . مائع التشغيل في دورة رانكين يختلف عنه في دورة التبريد . كما ان هذه المنظومة تقوم بتوليد الطاقة الكهربائية كما موضح في شكل (6-6).



شكل (6-6): منظومة دبلكس - رانكайн للتبريد الشمسي.

(Prigmore & Brber, 1975)

أنظمة التبريد الامتصاصية التي تعمل بالطاقة الشمسية

ان مصدر الحرارة في هذه الانظمة هو المولد الذي يجهز درجات حرارية اقل من 100°م اعتمادا على زوج المبرد - الممتص *refrigerant - absorbent* مثل امونيا اماء و ماء ا بروميد الليثيوم وهذه الانظمة تحتاج الى كهرباء لتدوير وسيط

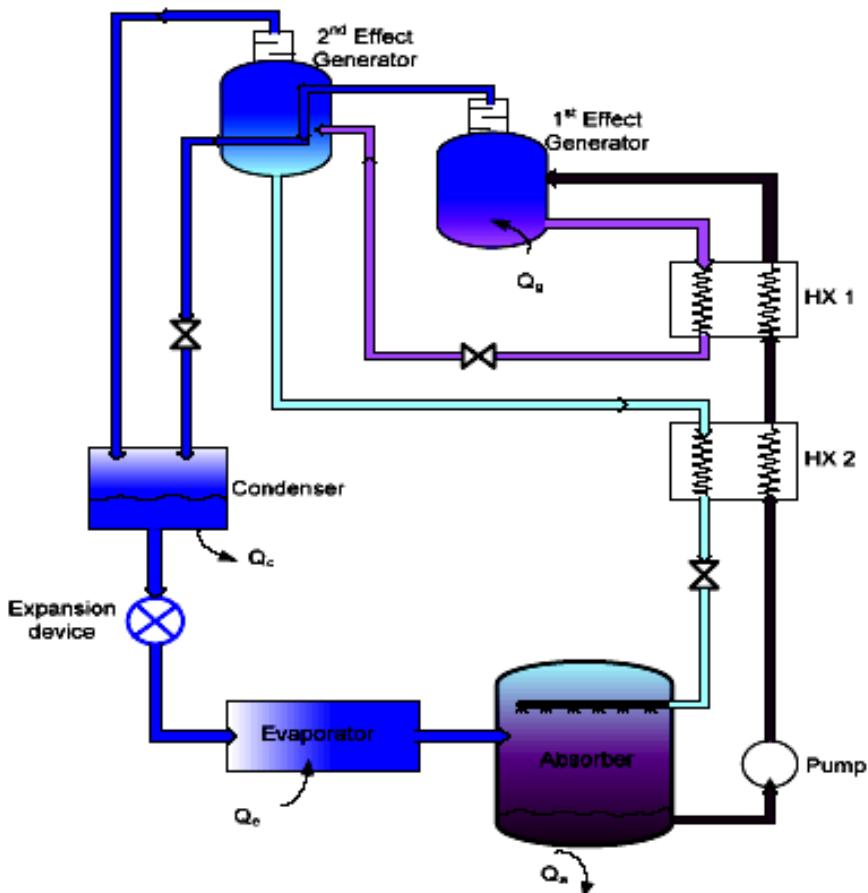
التبريد والتي تعمل بالحرارة والممتص . معامل الاداء لهذه الدورات يكون اعلى منه للدورات الاخرى فمثلا معامل الاداء لدورة تبريد ذات مرحلة واحدة يتراوح بين 0.6 - 0.8 ويزداد الى 1.35 لدورات التبريد المزدوجة وهذه يمكن استخدامها لتطبيقات التبريد وتكييف الهواء . هذه المنظومات يمكن ان تصمم باشكال مختلفة مثل الدورة المفردة الاساسية *basic single effect cycle* ودورة الامتصاص متعددة المراحل *Platen Munters multi-stage absorption cycle* تعمل بدون مضخة او دورة من النوع المفتوح *open cycle type* .

1- دورة الامتصاص المفردة *The single – effect absorption cycle*

هذه الدورة يمكن ان تعمل بصورة مستمرة او متقطعة يستخدم فيها محلول امونيا امامه كمائع تشغيل للتطبيقات ذات درجات الحرارة القليلة . اما محلول بروميد الليثيوم - ماء فيستخدم لتطبيقات تكييف الهواء .

2- دورة الامتصاص المتعددة *The multi-effect absorption cycle*

ان التصميم المتعدد المراحل يحسن من معامل اداء المنظومة عند اعلى درجات حرارة تشغيل . هنالك عدة تصاميم لهذا النوع من الدورات ، هي ذات التأثير المزدوج او *AHX* او *double effect* والتاثير الثلاثي *triple effect* ومبادل حراري ممتص *GAX* والمثال على المبرد الحراري المزدوج موضح في الشكل (6-7).



شكل (7-6): دورة الامتصاص المتعددة للتبريد الشمسي.

(Velazquez & Best,2002)

معامل الاداء حسن باضافة مبادل حراري اخر واعادة ترتيبهم بطريقة هي ان الحرارة يمكن ان تكون مولدة عند درجات حرارة مختلفة وهذا يعني ان الحرارة تكون مولدة داخلياً لعدة مرات وهذا ادى الى زيادة التعقيد والتكليف.

3-دورة الامتصاص الانشراري (Platent-Munter cycle)

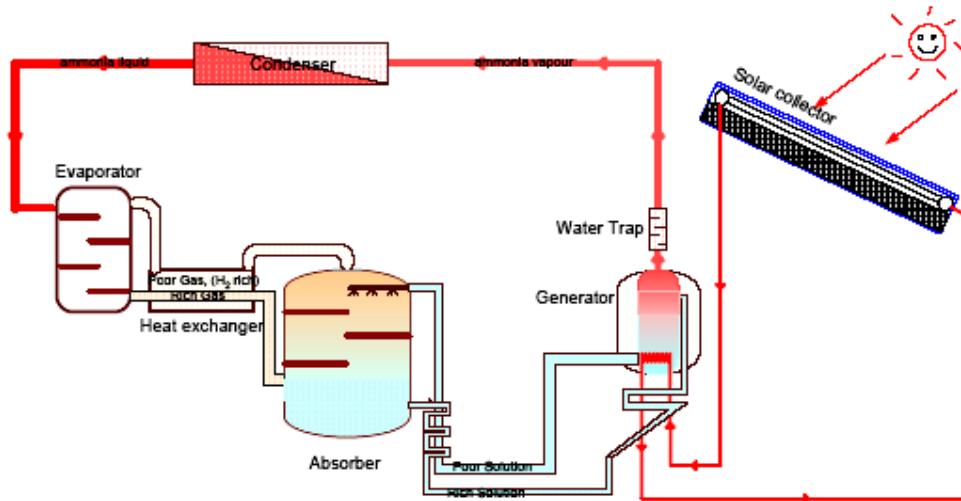
هذا النوع من المنظومات يطلق عليه *Electrolux refrigeration* وهو طور من دورات كير الامتصاصية وتمل بدون مضخة وبطرق عليها *no-moving part* و *no-auxiliary energy supply cycle* الغاز الخامل يستخدم على الخط الرئيسي ذي الضغط الكلي الثابت في المنظومة ، شكل (6-8).

الضغط الجزيئي لسائل التبريد يسمح له بان يكون منخفض في المبخر لانجاز عملية امتصاص والهايدروجين يستخدم كغاز خامل . ان مبدأ عمل هذه الدورة يشبع عمل دورة الامتصاص ذات المرحلة الواحدة والاختلاف هو ان الضغط الكلي يكون نفسه في داخل المنظومة والهايدروجين يدور بين المبخر والممتص حيث يقوم بتعويض فرق الضغط بين الجانب ذي الضغط العالى والآخر ذي الضغط الواطىء .
بخار الامونيا في المولد يتكتف في المكثف قبل وصوله الى المبخر .
في المبخر سائل الامونيا يعرض الى جو من الهيدروجين ويحصل التبريد عند تبخر سائل الامونيا .

نتيجة للضغط الجزيئي المنخفض له ، خليط الامونيا والهايدروجين يستمر بالقدوم الى الممتص (المرور خلال المبادل الحراري الداخلي) يقوم محلول الماء بامتصاص الامونيا والهايدروجين يعود الى المبادل الحراري والمبخر . بينما محلول الامونيا/ الماء يضخ الى المولد عن طريق مضخة الترموسيفون محلول الامونيا المائي الضعيف يذهب خلفا الى الممتص بواسطة الجريان بالجذب الارضي . درجة حرارة المولد تتراوح بين $120 - 18^{\circ}\text{C}$ وتعتمد على درجة حرارة التشغيل . مصدر الطاقة الغاز الطبيعي او النفط او الكهرباء معامل الاداء يتراوح بين 0.2 - 0.3 عند 25 الى 100 واط تصل درجة الحرارة في هذا النظام الى -19°C باستخدام المجمع الشمسي المفرغ عند 200°C والخزن الحراري .

المولد الكيميواحراري (TCA)

المولد الكيميواحراري هو مبرد امتصاص ثلاثي الطور ذو مضخة حرارية له القدرة على حزن الطاقة داخليا في الملح التبلور . في هذه الحالة كلوريد الليثيوم مع الماء يكون سائل التبريد . تتم هذه العملية تحت ظروف التخلخل بالضغط مع مبردات امتصاص قياسية باستخدام بروميد الليثيوم والماء. ان تشغيله يكون متقطع حيث يحصل طور شحن يتبعه طور تصريف وطور يبقى بين الطورين لكي يعطي عملية تشغيل مستمرة. شكل (9-6) و (10-6) يبيان مخطط للجريان في وحدة TCA . ان محلول كلوريد الليثيوم والماء يضخ فوق المبادل الحراري عن طريق الرش لزيادة المساحة المرطبة وتحسين انتقال الحرارة .



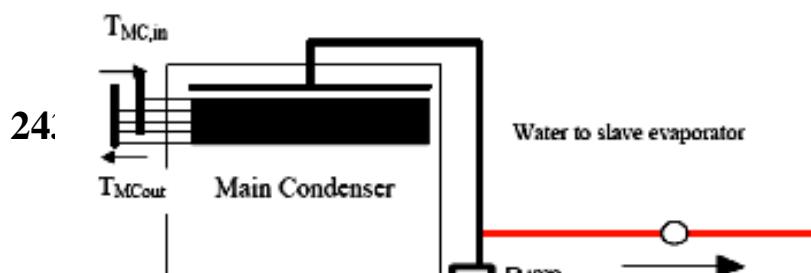
شكل (8-8): دورة الامتصاص الانشراري للتبريد الشمسي.

(Granryd,1998)

المحلول يأتي مغلق للتبغع وعندما يصل الى نقطة التبغع واضافة الى عدم الامترار تكون بلورات صلبة وتسقط تحت تأثير الجاذبية في اسفل الوعاء وفي هذه المنطقة يوجد منخل تتجمع عليه البلورات. كما هو موضح في شكل (9-6).

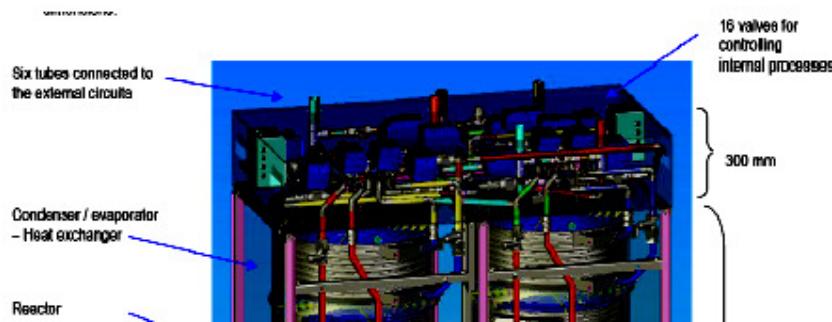
المحلول المشبع يضخ فوق المبادل الحراري حيث يتمتصه المبخر والحرارة المطلوبة لتغير الطور تعطي تأثير التبريد . ويصبح محلول غير مشبع عند المرور بالمبادل الحراري ولكن عند السقوط بداخل وعائه يمر مرة اخرى خلال البلورات حيث بعضها يذوب وينتج محلول مشبع مرة اخرى.

في هذا الطريق محلول هو دائما مشبع والشبكة تذيب البلورات وتحولها الى محلول مشبع .



الدورات المتقطعة Intermittent Cycle

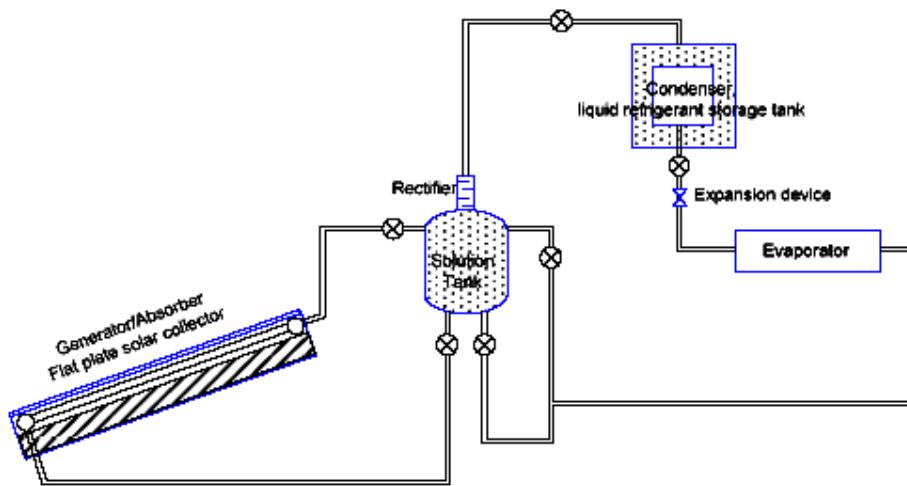
مبدأ عمل هذه الدورات يعتمد على دورة التبريد الامتصاصية ويستخدم المجمع الشمسي كمولد للحرارة ، والمنظومة لاحتاج الى مضخة. هنالك عمليتين رئيسيتين - هما التوليد والتبريد تستخدم الامونيا كسائل تبريد عملية التوليد عندما محلول امونيا - ماء يسخن في المجمع الشمسي والمحلول يذهب الى الخزان بواسطة السيفون الحراري ، بخار الامونيا ينفصل من الخزان ويمر خلال المصدر الى المكثف . بعد عملية التوليد فان المولد والمكثف معزولان عن الدورة والمحلول الصعييف في



المولد هو مبرد بواسطة درجة حرارة الهواء الجوي . المولد يحتوي على محلول ضعيف عند درجة حرارة الجو ووظيفته هي كمتص . توليد عملية التبريد عندما سائل التبريد (الامونيا) يخنق خلال صمام التمدد الى المبخر . سائل التبريد يتبخّر ويمر البخار الى الممتص .

هذا النوع من منظومات التبريد الشمسية المقطعة يكون على نوعين هما ذو المرحلة المفردة ذو المرحلتين.

الـ STR_S من هذه الانظمة تصل درجة حرارة التوليد الى 120 ° م وهي حوالي 0.05 للنظام المفرد. والمنظومة موضحة في شكل (6-11).



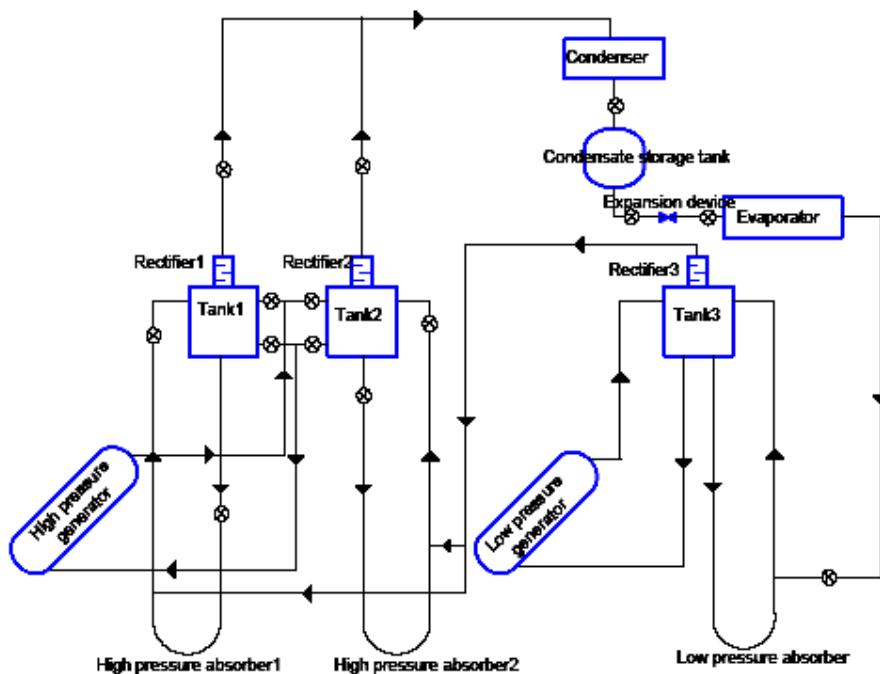
شكل (6-11): دورة التبريد الشمسي المقطعة. (Venkatesh & Mani, 1989)

المنظومة التي تعمل بصورة مقطعة ذات المرحلتين يمكن ان تستخدم للتسخين وترفع الكفاءة . هذه المنظومة تسيطر على درجة حرارة التشغيل المحددة في المنظومة ذات المرحلة المفردة والتي لاتعمل عند درجات الحرارة المنخفضة . في هذه المنظومة هنالك مستويين لضغط المولد هما مولد الضغط العالي HPG ومولد الضغط المنخفض LPG يستخدم في هذا النوع مجمع مستوي وهنالك خزانين للمحلول الضعيف هما 1 و 2 للخزن والتجهيز الى HPG والخزان 3 يستخدم للخزن والتجهيز للمحلول الضعيف LPG . الخزان 1 و 2 لا يجهزان محلول الضعيف الى نفس الوقت وهم متاوايان يوميا . الخزان 3 يعمل كل يوم لتجهيز محلول الضعيف الى خزان 1 و 2 أي لا يكون تزويد محلول الى HPG . ان توليد درجة

الحرارة يصل الى حدود $70 - 80^{\circ}\text{C}$ ومعامل الاداء الاجمالي للمنظومة حوالي 0.15 . والمنظومة موضحة في شكل (6-12).

دورة التبريد الامتزازي المتقطعة Refrigeration Cycle

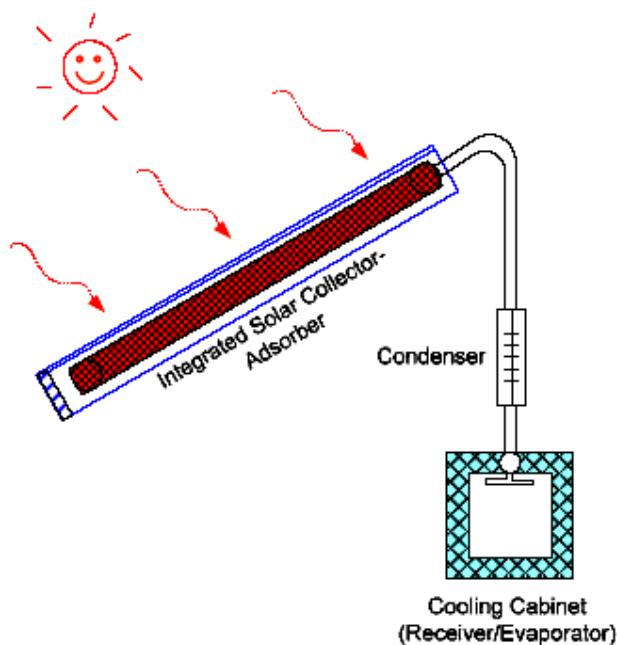
أغلب منظومات التبريد الامتزازي الصلبة هي من النوع المتقطع . الكاربون النشط او الميثanol تستخدم بشكل واسع في مثل هذه المنظومات التي تستخدم لانتاج الثلج. وكما هو موضح في شكل(6-13).



شكل (6-12): الدورة المتقطعة ذات المرحلتين. (Venkatesh & Mani, 1989)

بعض المنظومات يتم فيها دمج موضع مادة التبريد والمجمع الشمسي سوية . يستخدم في هذه المنظومات مجموعات شمسية مستوية وكذلك مجموعات شمسية مفرغة . وكذلك تستخدم الامونيا كسائل تبريد ولكن يجب ان يستخدم مجمع شمسي من الحديد او الالمنيوم وهذا النظام لا يحتوي على صمام .

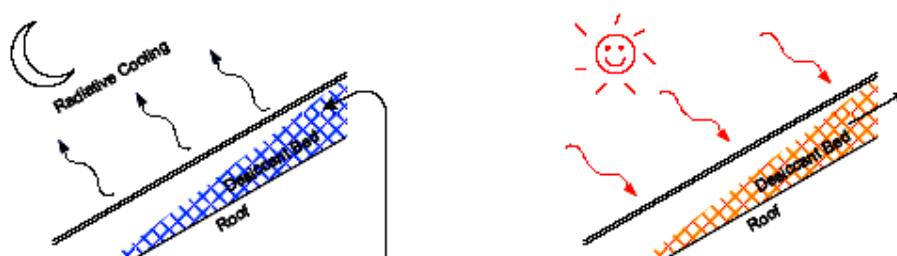
كذلك يستخدم water | Zeolite لتطبيقات تكييف الهواء ، بينما يستخدم الكاربون النشط والامونيا في الاجهزه المستعملة لحفظ الاغذية بالتجميد.



شكل (13-6): دورة التبريد الامتزازي المتقطعة. (Hu,1996).

**منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي المدمجة بالمجمع الشمسي
Solar-Driven Desiccant Cooling System with integral Desiccant solar collector**

تتكون المنظومة من ثلاثة منظومات فرعية مستقلة هي مادة التجفيف المدمجة في المجمع الشمسي وتحصل عملية التنشيط خلال النهار وعملية ازالة الرطوبة تحدث خلال الليل وهذه المنظومة يمكن ان تجهز الهواء المكيف خلال 24 ساعة وهي ملائمة في الاجواء الرطبة شكل (14-6).



A Solar Ammonia Absorption Ice maker

هذا الجهاز يعتمد في عمله على الطاقة الشمسية . كما في شكل (15-6) و (16) يحدث التجميد فيه بطريقة متقطعة نتيجة اعتماده على الطاقة الشمسية اثناء النهار وانعدامها اثناء الليل . هذه المنظومة تستخدم الملح بدلا من الماء كمادة امتصاص ، لأن الملح لا يتبخّر اثناء التسخين .

المولد *Generator* هو عبارة عن أنبوب قطره 3 أنج مصنوع من الحديد غير المغلون ، وموضعه عند بؤر القطع المكافئ *parabolic* خلال المجمع الشمسي غير المزود بمنظومة تعقيب . خلال التصنيع يوضع كلوريد الكالسيوم في المولد ويغلق بصورة محكمة.

الامونيا النقية *anhydrous ammonia* توضع في خزان مكيف الضغط بحيث يسمح لها بالتبخر خلال الصمام الى المولد وعندئتمتصها جزيئات الملح مكونة محلول $\text{CaCl}_2 \cdot 8\text{NH}_3$ (*Calcium Chloride - Ammonia*). المولد يوصل الى مكثف *Condenser* مصنوع من ملف طوله 21 قدم غير مغلون قطره ربع انج .

هذا الملف يغمر في حمام مائي لغرض التبريد كما ان انبوب المكثف ينحدر الى خزان المبخر التجميع الموضوع في صندوق معزول ينتج منه الثلج.

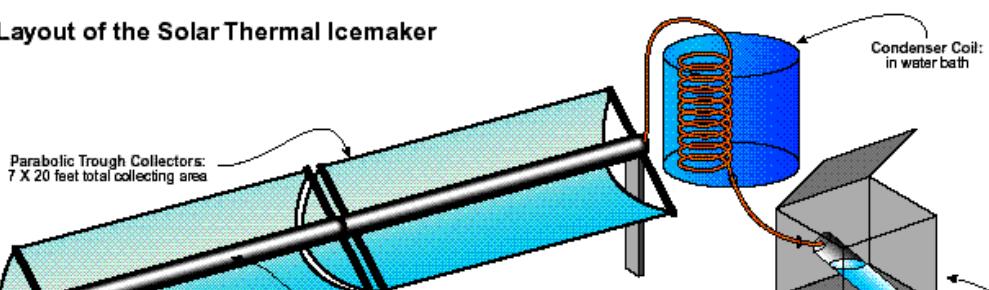
عمل المجمد

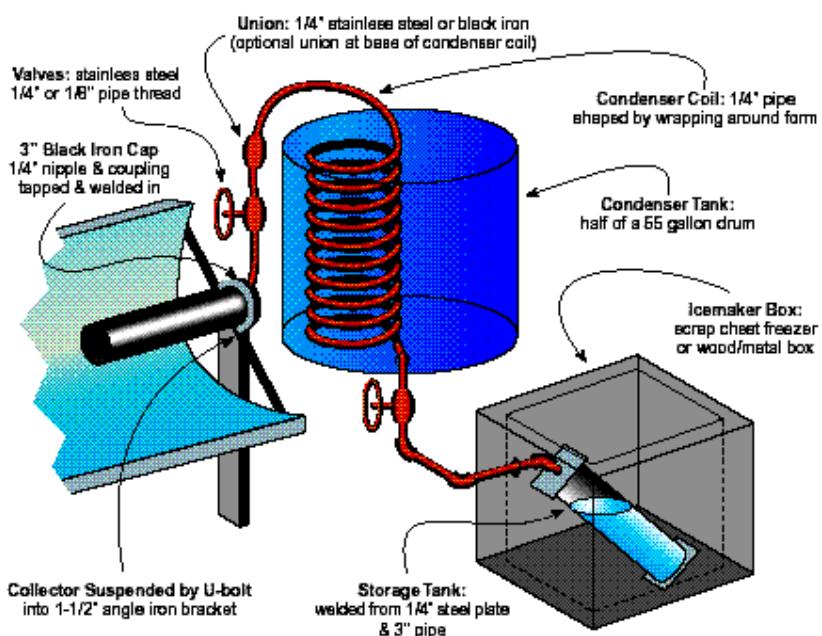
هذا المجمد يعمل في دورة نهاراً ليلاً ، توليد الامونيا المقطرة خلال وقت النهار ويعاد امتصاصها في الليل . الامونيا تغلي خارج المولد وتكون على شكل غاز ساخن عند ضغط مقداره حوالي 200 psi ، هذا الغاز يتكتّف في المكثف وينزل على شكل قطرات في الخزان . وفي نهاية اليوم يتم امتصاص وتجميع ثلاثة ارباع الامونيا(عند درجة حرارة 250 درجة فهرنهايتية ، ست ذرات من الامونيا ترتبط الى جزيئات الملح وتكون جاهزة)

في دورة الليل فان كلوريد الكالسيوم يعيد امتصاص غاز الامونيا حيث يسحبها نحو الخلف خلال ملف المكثف اذ انها تتبخّر من الصندوق . اثناء تبخّر الامونيا فانها تزيل كميات كبيرة من الحرارة من خزان التجميع والماء الموجود فيه . خلال هذه الدورة فان كل الامونيا تتبخّر من الخزان وان جميع الماء الموجود فيه يتتحول الى ثلج ويستخرج عند الصباح ويستبدل بماء جديد للدورة القادمة.

تحت اشعة الشمس الجيدة فان المجمع الشمسي يجمع طاقة كافية لاكمال دورة التوليد لمدة ثلاثة ساعات فقط . وهذا يسمح للمجمدة بالعمل بصورة جيدة حتى في اليوم الضبابي او الغائم جزئي ، وعندما ينتهي عمل التوليد . وهذا المجمع يمكن ان يغطي من الشمس والمولد سوف يبرد بكفاية لحدوث دورة الليل وتبدأ عملية تكوين الثلج خلال النهار.

Layout of the Solar Thermal Icemaker





شكل (6-6): جهاز تجميد شمسي موضحة عليه الابعاد.

(Vanek et al., 1996)

محمد امتاري يعمل بالطاقة الشمسية Solar Powered Adsorption Refrigerator

في هذا النوع من المجمدات شكل (17-6) فان وسيط التبريد هو الماء والجزء المميز هو حبيبات السليكاigel *Micro porous Silica gel* . والمجمع الشمسي الذي مساحته 2m^2 وزاوية ميله 30 درجة ذو غطاء زجاجي شفاف واخر من التفلون على شكل طبقة رقيقة مثبتة بين الزجاج وجزء الامتاز والآخر يتكون من 12 انبوب

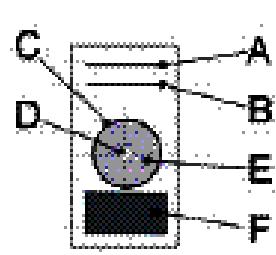
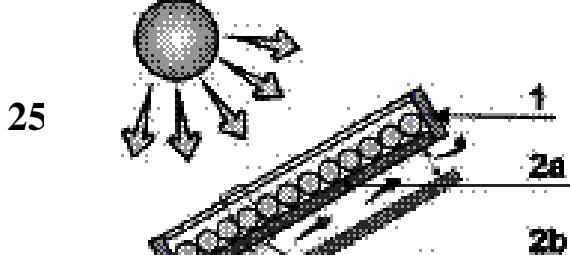
قطر الواحد 72.5 ملم يحتوي على 78.8 كغم من حبيبات السليكاجل . الانابيب مغطاة بطبقة اليكتروليتية منتخبة Chrome – black, Enegie Solaire SA التي امتصاصيتها 95% من الاشعاع الشمسي المرئي وابعاديتها حوالي 0.07 في الاطوال الموجية للاشعة تحت الحمراء وضعت هذه الانابيب على صفيحة معدنية توصيلها الحراري عال والسعنة الحرارية النوعية لها منخفضة.

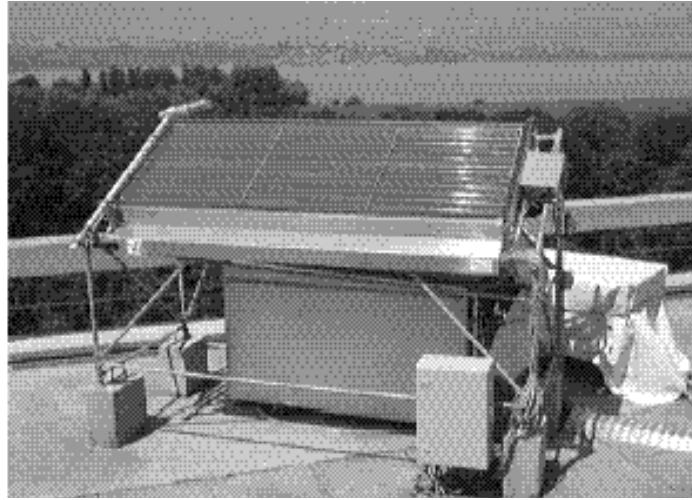
الانبوب المركزي مصنوع من مشبك معدني قطره 15 ملم وقطر فتحاته 1 ملم وسمك 0.45 ملم . صمامات التهوية تتكون من ميكانيكية بحيث تسمح للعزل الحراري الذي سمكه 50 ملم من الفايبركلاس ليكون مفتوحا من الجانب الخلفي من المجمع الشمسي ، ليجهز تبريد كفاء بالحمل الطبيعي خلال الليل.

يتكون المكثف من ثمانية انابيب متوازية ومزعنة يتم تبریدها بواسطة الحمل الطبيعي للهواء ، ومساحة الزعناف الكلية هي 6.9 m^2 . يتكون المبخر من ثلاثة حلقات مصنوعة من انابيب مربعة ، مساحة التبادل الحراري الكلية لها 3.4 m^2 ، وطاقته الاستيعابية 40 لتر من الماء تتحول الى جيد خلال مرحلة التبخر . الصندوق البارد هو من نوع Chest-type ومعزول بالبولي ستايرين بسمك 170 ملم وحجمه الداخلي 320 لتر.

يوضع الصمام بين الخزان الخارجي والمبخر وهذا الصمام يعمل كهربائيا . عندما تكون شدة الاشعاع الشمسي فوق 100 واط m^{-2} يغلق الصمام ويفتح عند نهاية المساء والاختلاف بالضغط بين المبخر والمكثف هو اقل من 100 باسكال .

يغلق صمام التهوية عند ما تكون شدة الاشعاع الشمسي فوق 100 واط m^{-2} ويفتح عند نهاية المساء عندما زاوية الاشعاع الشمسي المؤثرة فوق الفتحة المستوية من المجمع الشمسي هي فوق 50 درجة .





شكل (6-18): صورة فوتوغرافية للمجف الشمسي الامتزازي.

(Hildbrand *et al.*, 2002)

اداء المنظومة

معامل الاداء C.O.P لمنظومة التبريد الشمسية يحسب من المعادلة الآتية:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_h} = \frac{m_L [\lambda - C_p (T_c - T_e)]}{A_{fs} \int_{sunrise}^{sunset} I_T \cdot dt} \quad (6-1)$$

Q_e : الطاقة الحرارية اللازمة للتبخير (جول).

Q_h : الطاقة الحرارية الشمسية (جول).

m_L : كتلة السائل (كغم).

λ : الحرارة الكامنة لت bxir الماء (كج/كغم).

C_p : الحرارة النوعية (جول / كغم.كلفن).

T_c : درجة حرارة المكثف(كلفن).

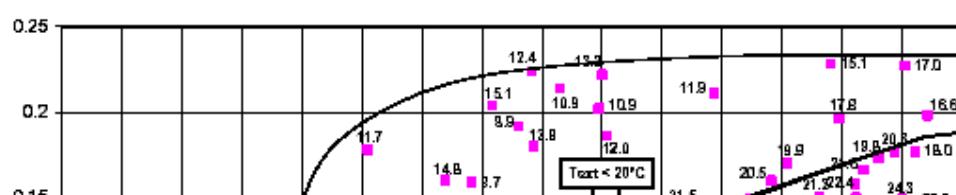
T_e : درجة حرارة المبخر (كلفن).

A_{fs} : مساحة الجانب الامامي من المجمع (م²).

t : الزمن (ثانية).

يلاحظ من الشكل (19-6) ان معامل الاداء الذي تم قياسه خلال فترات زمنية متساوية من اليوم المشمس لشدة اشعاع شمسي متغيرة حسب ساعات اليوم . وكذلك يوضح معدل درجات الحرارة الخارجية.

ان شدة الاشعاع الشمسي في البداية هي 7 ميكاجول / م² ومعامل الاداء يساوي صفر ، وعندما كانت 20 ميكاجول / م² فان معامل الاداء قد تغير بين 0.12 و 0.23 واهذا يعني ان معامل الاداء متغير من يوم الى يوم اخر وهذا بسبب التاثير على دورة التبريد نتيجة لدرجة الحرارة الخارجية عند فترات زمنية مختلفة خلال اليوم. عند الليل تكون درجة الحرارة منخفضة وبهذا سيكون اعادة امتزاز الماء من قبل السيليكون افضل ، وعندما يكون الامتزاز عالي وكذلك التبخير ونتيجة لهذا ستكون هناك كمية كبيرة من الثلوج في المبخر. وفي الصباح القادم فان الممتاز مفضل لعدم حصول امتزاز خلال اليوم التالي. اما في النهار فان درجة حرارة الجو تحدد مستوى الضغط في المكثف ، وعندما تكون درجة الحرارة منخفضة فان هذا الضغط يكون منخفض ويبدأ التكثيف . ولمدة يومين وعند تساوي شدة الاشعاع الشمسي فان الاداء سوف يكون افضل عندما تكون درجة الحرارة الخارجية منخفضة.



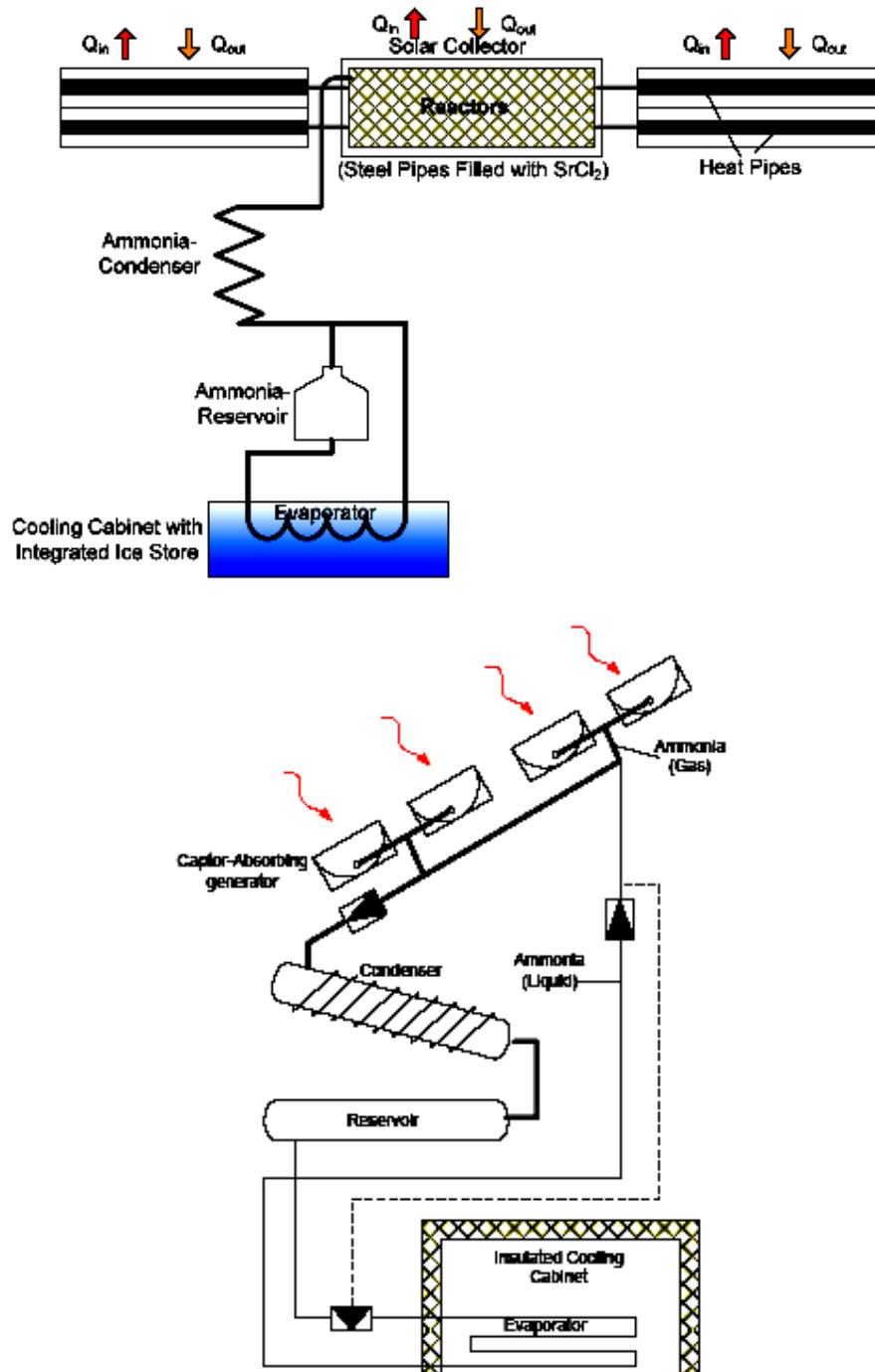
النظام المستمر *The Continues System*

يتكون هذا النظام من مكثف وصمام خانق وبخار ومفاعل امتياز صنع Oertel & Fischer (1998)، منظومة تبريد امتيازية مستمرة لمخزن تبريد باستخدام السيلكاجل ا ميثanol واستخدما مجمع شمسي مستوى لتجهيز الحرارة الى مفاعل الامتياز . درجة حرارة التبريد هي -2°C عند درجة حرارة التفاعل $80 - 90^{\circ}\text{C}$. واقتصر Zhang & Wang (2002) منظومة امتيازية مستمرة للتسخين والتبريد خلال اليوم وينتج كغم ماء حار بدرجة حرارة 48°C ومعامل الاداء للتسخين هو 0.34 في الليل يتم التبريد عند سعة 0.13 ميكاجول m^2 من مساحة تجميع الحرارة ومعامل الاداء للتبريد 0.18.

دورة الامتياز الكيميائي *The Chemical Adsorption Cycle*

النسبة الحرارية للمنظومة STR للنموذج في الشكل (20-6) تتراوح بين 0.06 - 0.14 وسط التشغيل هو Ammonia/SrCl_2 وهذه المنظومة تتراوح كفاءتها بين 0.05 - 0.08 . صمم Enibe & Iloeje, (1997) مجمعات شمسية مصنوعة من الالمنيوم والحديد مملوئة بمادة الامتصاص وادت الى تحسين معامل الاداء لهذه

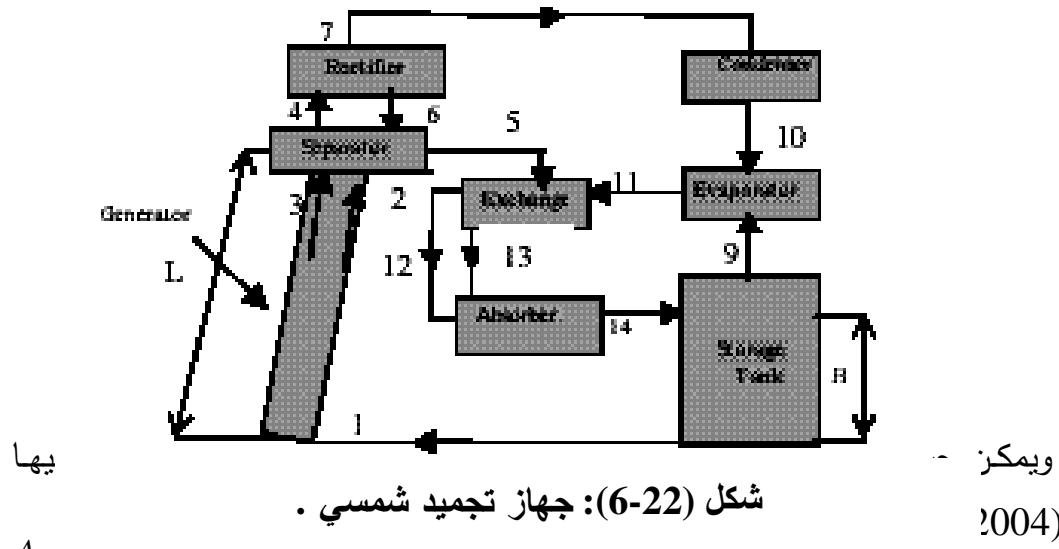
المنظومة الى 30 %. ويوضح الشكل (6-21) مكونات ثلاجة شمسية نوع Cold . *egos solar refrigerator*



شكل (6-21): اداء المنظومة. مل (Flechon *et al.*, 1998) (Frhard *et al.*, 1999).
بالامتصاص والانتشار للامونيا وغاز الهيدروجين . يتكون من مبخر ومكثف

وممتص ومبادل حراري ومجمع شمسي ومنقى *Rectifier* وجهاز فصل . يأتي محلول الامونيا - ماء من الخزان ويمر في انباب المجمع الشمسي 1 حيث يتم تسخينه هنالك ، وتتبخر الامونيا وينقلا محلول الضعيف منها الى جهاز الفصل . ان بخار الامونيا المتولد يحتوي على كمية قليلة من بخار الماء وهذه يمكن التخلص منها عن طريق المنقى وبخار الماء المختلف يعود الى جهاز الفصل 6 بينما بخار الامونيا يصل الى المكثف 7 ويتحول الى الحالة السائلة بعد مرور الامونيا من المكثف الى المبخر 8 فانه يتماس مع غاز الهيدروجين 9 اذ انه يسهل تبخر الامونيا وذلك بامتصاص كميات كبيرة من الحرارة من الوسط ليكون مبردا . ان خليط غاز الامونيا والهيدروجين 11 ينتج عند درجة حرارة المبخر ثم يأتي بتماس مباشر مع محلول الضعيف الذي يأتي من منطقة الفصل وكلاهما يأتيان الى المبادل الحراري ويتمتصان كمية من الحرارة فيما بعد .

عند مخرج المبادل 13 فان محلول الضعيف المبرد في الممتص فانه يمتص الامونيا من خليط غاز الامونيا - هيدروجين ، وهذا الامتصاص يكون عند درجات حرارة منخفضة اما الهيدروجين غير الذائب في الماء فانه يرتفع الى الاعلى في الخزان 9 ويعود بعد ذلك الى المبخر بينما يدخل محلول امونيا - ماء الى المجمع الشمسي وتبدأ دورة جديدة شكل (6-22).

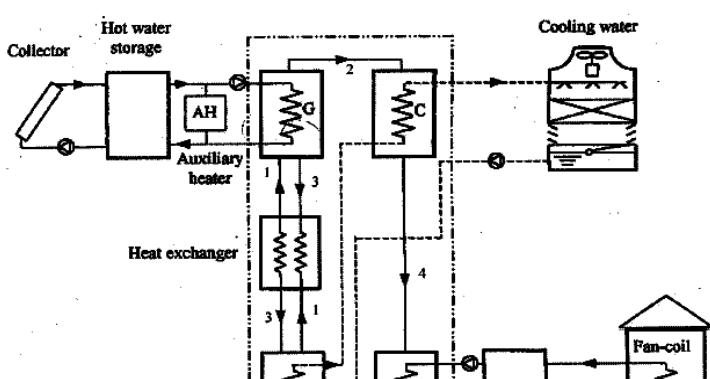


$$A_{coll.spec.} = \frac{I_T \eta_{coll.} COP}{(1 - \epsilon)} \quad (6-2)$$

عندما تكون شدة الاشعاع الشمسي $800 \text{ واط}/\text{م}^2$ وكفاءة المجمع الشمسي 50 % ومعامل الاداء 0.7 فان مساحة المجمع الشمسي النوعية 3.6 م^2 لحمل تبريد مقداره 1 كيلو واط.

Solar Absorption Cooling System شكل (6-23) تتكون من مجمع شمسي ومثلج Chiller يحتوي على مولد حرارة ومبادل حراري وممتص ومكثف ومبخر اضافية الى وجود برج تبريد خارجي .

عندما تسقط اشعة الشمس على المجمع الشمسي فان الحرارة تنتقل الى خزان الماء الحار ومن الاخير تنتقل الحرارة الى المولد الذي يحتوي على محلول $(\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O})$ حيث يتبخّر الماء منه ويذهب الى المكثف ومن ثم الى المبخر ومن الاخير ينتقل عبر ملف الى الحيز المراد تبریده . وبالوقت نفسه فان محلول القوي يغادر المولد وينتقل عبر المبادل الحراري ليقوم بتسخين اولي الى محلول الضعيف ثم ينقل الى الممتص . وفي الاخير فان محلول القوي يقوم بامتصاص بخار الماء الناتج من المبخر الى الجزء الممتص . من برج التبريد ينقال الماء البارد اولا الى الممتص ووظيفته ازالة الحرارة الناتجة عن الخلط والتكتيف . ان درجة حرارة الممتص لها تأثير على الكفاءة اكبر من جزء التكتيف . الحرارة المزالة (ماء التبريد) تسمح للجريان خلال الممتص اولا ومن ثم الى المكثف .



حسابات منظومة التبريد الامتصاصية Cooling System موازنة الطاقة

ان الطاقة الحرارية الداخلة الى الدورة هي ناتجة من المولد وهي:

معدل الحرارة المزالة بواسطة المكثف هي:

والمعدل امتصاص الحرارة في المبخر هو:

اما معدل الحرارة المزالة بواسطة المتص هـ:

$$Q_{ab.} = h_5 m_5 + h_3 m_3 + h_1 m_1 \dots \dots \dots \quad (6-6)$$

ان معامل الاداء يعرف من المعادلة الآتية:

$$C.O.P. = \frac{Q_{evap.}}{Q_{gen.}} \dots \dots \dots \quad (6-7)$$

الإثناليبي لمحلول بروميد الليثيوم + ماء يحسب من المعادلة الآتية:

$$h = \sum_0^4 A_n x^n + T \sum_0^4 B_n x^n + T^2 \sum_0^4 C_n x^n \dots \quad (6-8)$$

حیث A و B و C ثوابت

خزان الماء المستخدم للخزن الحراري وضع خلف المجمع الشمسي افترض حدوث الخلط التام في الخزان وان التغير في الزمن ثابت وبذلك فان المعادلة التالية يمكن

ان تستخدم لاي فترة زمنية وهي مقتربة من قبل *Duffie & Beckman*

$$T_{s,new} = T_{s,sold} + \frac{\Delta t}{(mc_{vw})_s} [Q_u - Q_L - (u.A)_s (T_s - T_O)] \dots \dots \dots (6-9)$$

حيث ان Q_L هي الطاقة المنتزعة من الخزان الحراري T_s هي درجة الحرارة في الخزان الرئيسي لفترة معينة و m كتلة خزان الخزن الحراري و $(u.A)_s$ وقيمتها 11.1 واط / كلفن وهي مفترضة من قبل *Duffie & Beckman* كما ان معامل انتقال الحرارة افترض 0.72 واط / m^2 كلفن للحمل الطبيعي.

السخان المساعد الذي يقع خارج الخزان المخصص لخزن الحرارة الذي يرفع درجة حرارة الماء الاتي من الخزان عندما تكون درجة حرارته غير كافية لعمل المنظومة.

سعة الخزان المساعد تحسب من المعادلة الآتية :

$$Q_{aux.} = mc_{pw} (T_{ref.} - T_s) \dots \dots \dots (6-10)$$

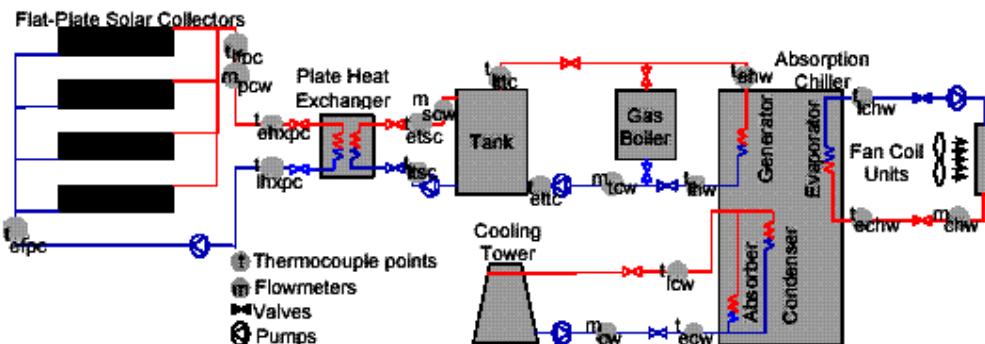
حيث ان m معدل الجريان الكتلي للماء المستخدم بالمولد .

ان نسبة الطاقة المجانية *Fraction nonpurchased Energy*

$$FNP = 1 - \frac{Q_{aux.}}{Q_{load}} \dots \dots \dots (6-11)$$

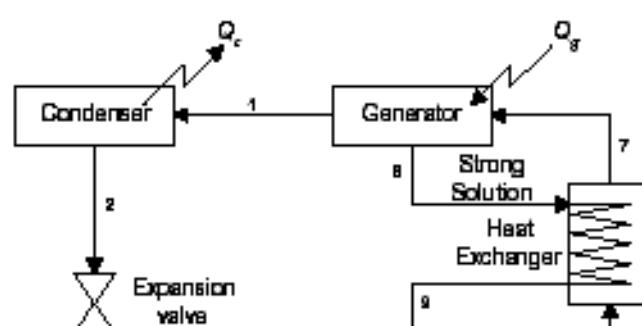
Q_{load} هي بالضبط نفس Q_{gen} والتي هي حمل المولد وتتضمن المدخلات والمخرجات من الطاقة.

وهنالك منظومة تكييف الهواء بالامتصاص وتعمل بالطاقة الشمسية شكل (6-24) مكوناتها تشبه المنظومات السابقة وتستخدم محلول بروميد الليثيوم + ماء في دورة التبريد الا انه يتم التحكم بسائل التبريد المتكتف عن طريق جهاز التمدد ويحتوي على ممرين ، يتذكر سائل التبريد تحت ضغط منخفض في المبخر وينتج التبريد ، والماء يجري خلال المبخر عبر ملف ويبعد وينتقل الى ملف موجود في الحيز المراد تبریده وتقوم مروحة بتحريك الهواء عليه واجراء عملية التبريد وتصل درجة الحرارة هنالك الى 8°C .



شكل (6-24): منظومة تكييف الهواء الشمسيّة تعمل بالامتصاص.

يوضح الشكل (6-25) المكونات الرئيسية لدورة التبريد بالامتصاص . ان السائل ذو الضغط العالي 2 من المكثف يمر الى المبخر 4 خلال صمام التمدد 3 الذي يعمل على خفض ضغط سائل التبريد عند ذهابه الى المبخر . سائل التبريد 3 يتبرد في المبخر بواسطة امتصاص الحرارة من المادة الغذائية وتبريدها ويحصل ايضا انخفاض في ضغط البخار الذي يمر الى الممتص الذي عنده يتم امتصاصه بواسطة محلول قوي يأتي من المولد 8 خلال صمام التمدد 10 وايضا من محلول الضعيف 5 . والاخير يضخ الى مولد الضغط 7 وسائل التبريد في حالة توقفه عن الغليان. محلول المتبقى 8 يرجع الى الممتص وبهذا تكتمل الدورة.



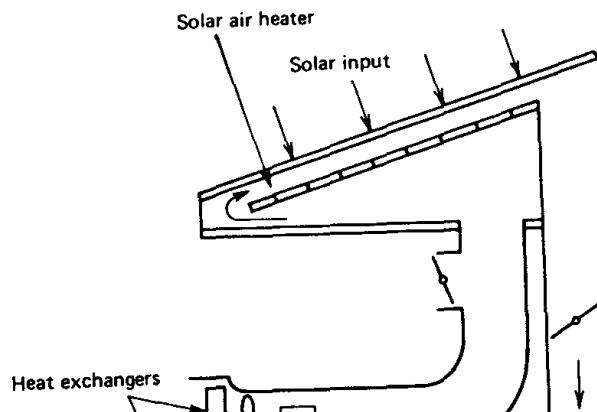
2- منظومات الامتزاز المفتوحة

تعد السليكاجل مادة الامتزاز الاكثر استعمالا في هذه المنظومات ، وذلك لان درجة اعادة تنشيطها واطئة نسبيا وتتراوح بين $60 - 80^{\circ}\text{م}$. ولذا يمكن استعمال المجمع الشمسي المستوى مع المنظومات التي تستخدم السليكاجل لتجهيزها بالحرارة اللازمة لاجراء عملية تحرير بخار الماء الذي تم امتزازه من الهواء المعامل.

تعد المنظومة المقترحة من قبل Dunkle والمبنية في الشكل (6-26) ، منظومة الامتزاز المفتوحة الاساسية . ويتم في هذه المنظومة اولا غسل الهواء المعامل وتبريده تبخيريا في جهاز غسل الهواء . ثم يمرر خلال مبادل حراري لتبريد تبار الهواء الساخن المجفف، فيسخن بذلك الهواء المغسول قبل دخوله المجفف. يتم امتزاز رطوبة الهواء المغسول في افرشة السليكاجل الدوارة ، فيخرج الهواء ساخنا جافا . يمرر بعدها خلال مبادلين حراريين ، الاول يتبادل الحرارة مع هواء المحيط الخارجي الذاهب الى سخان الهواء الشمسي ، والثاني يتبادل الحرارة مع الهواء المغسول . بعد ذلك يبرد الهواء المجفف تبخيريا بتزويذ الماء فيه ليجهز بعدها الى الحيز المراد تكييفه . ومن اهم المميزات الاخرى للمنظومة هي ان كل من جهاز غسل الهواء والمبرد التبخيري يمكن ان يعمل كبرج تبريد حيث ان الماء الزائد الذي يتركهما يمكن ان يجهز الى مبادلي الحرارة.

لقد صنف Rush واخرون منظومات الامتزاز المفتوحة الى نموذجين اعتمادا على المصدر الذي يجهز منه الهواء المعامل الى المنظومة . الاول هو نموذج التهوية Ventilation Mode ويجهز فيه الهواء المعامل الى المنظومة من المحيط الخارجي . والثاني هو نموذج الاسترجاع Recirculation Mode ويجهز فيه الهواء المعامل الى المنظومة من الحيز المكيف نفسه . ويمكن تلخيص عمل النموذجين بما يلي :

في نموذج التهوية وكما مبين بالشكل (6-27) ، يجهز هواء المحيط الخارجي الى مزيل الرطوبة فتتمتر مادة التجفيف بخار الماء منه فيسخن بذلك ، فيمرر خلال مبادل حراري لانتزاع حرارته المحسوسة بواسطة الهواء المطروح الى الخارج . ثم يبرد الهواء المجفف بعدها في مبرد تبخيري ليجهز الى الحيز المراد تكييفه فيبرد تبخيريا مرة ثانية للحصول على مستوى ذي درجة حرارة منخفضة لانتزاع حرارة الهواء المجفف الخارج من مزيل الرطوبة وكما مبين في الشكل (6-28) ، يسخن الهواء المطروح بعدها بواسطة مسخنات وقد تكون كهربائية او شمسية او الايثان معا ، ليمرر خلال مزيل الرطوبة لغرض اعادة تشحيط مادة التجفيف . وبذلك تكون العملية كاملة وتستمر الدورة في عملها لتجهيز الحيز بالهواء المكيف.



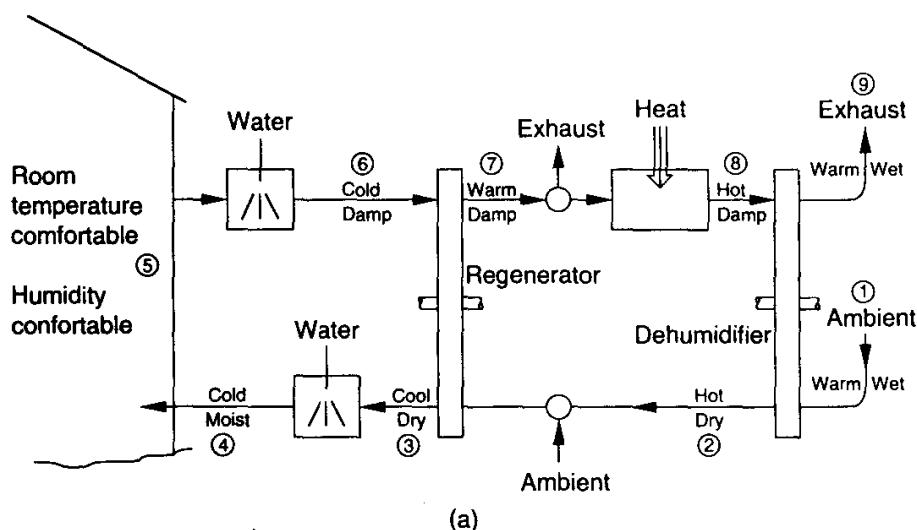
اما نموذج الاسترجاع فمكوناته مماثلة للتي يتكون منها نموذج التهوية . ماعدا ان
هواء الحيز المكيف يعاد تكييفه ليجهز مرة اخرى للحيز في دورة شبه مغلقة ، وفي
الوقت الذي يستخدم فيه هواء المحيط الخارجي لاعادة تشغيل افرشة التجفيف كما

مبين في الشكل (28-6) ، يجهز هواء الحيز المكيف الى مزيل الرطوبة لازالة رطوبته بامتزاز بخار الماء فيسخن ، ويمرر بعدها خلال مبادل حراري لانتزاع حرارته المحسوسة ثم يبرد تبخيريا ليعاد تجهيزه الى الحيز . واما هواء المحيط الخارجي فيبرد تبخيريا اولا لاستخدامه مستودعا باردا لانتزاع حرارة الهواء المجفف في المبادل الحراري . وبعدها يسخن بوساطة مجمع شمسي وسخانات كهربائية مساعدة ليستخدم في تشغيل مادة التجفيف فتحرير بخار الماء الممتر من الهواء المعامل .

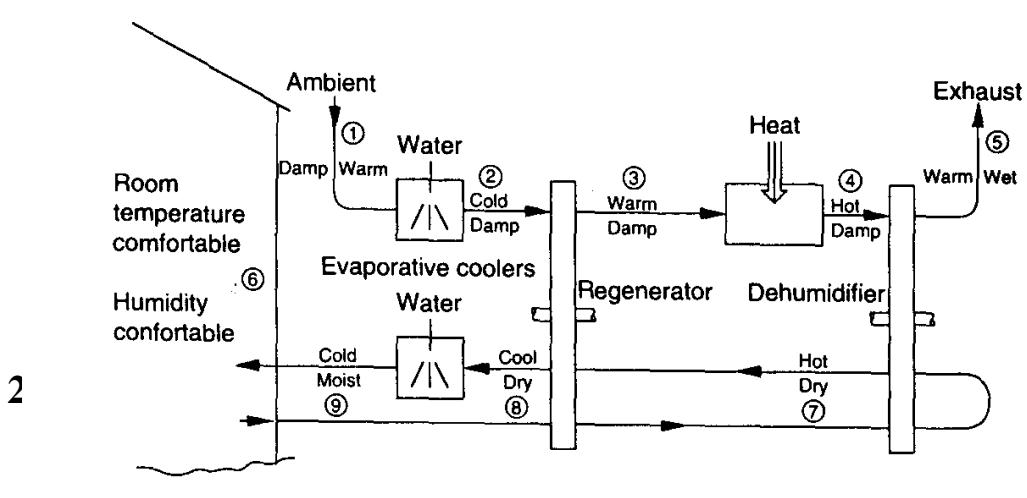
قام Dunkle Close بتطوير منظومتي Lof و Dunkle حيث اقترحا دورتين مفتوحتين للتبريد بالطاقة الشمسية ، يجهز فيما الهواء المعامل الى المنظومة من الحيز المكيف نفسه ، والدورتان تستخدمان المكونات الاساسية لمنظومتيهما مع تقليل في عدد الاجزاء الثانوية . فاستخدما وحدة مركبة لغرضي التجفيف بمادة امتزازية صلبة وتخزين الطاقة الحرارية وقللا عدد المبادلات الحرارية .

اما النوع الثاني من منظومات الامتزاز المفتوحة فتستخدم افرشة تجفيف ثابتة تعمل بصورة دورية متزامنة بين التجفيف واعادة التشغيل . وقد درس Lavan و Worek هذا النوع من المنظومات ، وقد اقترحوا منظومة تمتاز بان افرشة التجفيف فيها كانت على شكل شرائح عمودية رقيقة جدا من مشبك القلون الذي يحتوي بداخله على دقائق السليكاجل . وكانت افرشة التجفيف تبرد بدقق مستعرض . وت تكون المنظومة من مزيلين للرطوبة بقنوات مستعرضة لمرور هواء التبريد وثلاث مبردات تبخيرية ذات اللباد الرطب مع مبادلين حاربين . تعمل منظومة التبريد هذه بتناوب عمل كل من مزيلي الرطوبة بصورة دورية منتظمة . فمزيل الرطوبة الاول يتميز بخار الماء من الهواء المعامل ويبعد بدقق مستعرض من هواء المحيط الخارجي المبرد تبخيريا . وفي الوقت ذاته يتحرر بخار الماء الذي انتز في دورة سابقة من مزيل الرطوبة الثاني وتنتم عملية تحرير بخار الماء بامرار تيار هواء ساخن بدرجة حرارة 60°C المجهز من المجموعات الشمسية او أي مصدر اخر . بعد اتمام دورتي الامتزاز والتحرر وفترة تتراوح ما بين 20 و 30 دقيقة ، فان الوحدتين تتبدلان العمل . ولكن يلاحظ ان مزيل الرطوبة الذي اكمل عملية التحرر اصبح ساخنا كما ان مزيل الرطوبة الذي يبدأ بعملية التحرر يحتاج الى طاقة حرارية لرفع درجة حرارة افرشة التجفيف الباردة . لذلك

يجب قبل التبادل بالعمل ان يسخن مزيل الرطوبة الذي اكمل عملية الامتاز ويبعد الآخر الذي اكمل عملية التحرر . ويتم ذلك بينهما بامرار هواء المحيط الخارجي خلال قنوات التبريد في الساخن فتنزع حرارته المحسوسة . ويمرر الهواء بعد ذلك خلال قنوات مزيل الرطوبة الثاني لرفع درجة حرارته . وبعد اتمام هذه العملية يكون مزيلا الرطوبة جاهزين لاجراء عملية الامتاز والتحرر . تجهز المنظومة بمبادل حراري لتبريد الهواء المجفف الساخن والذي يبرد بعدها تبريدا تبخيريا ليجهز الى الحيز المراد تكييفه . كما ان المنظومة تجهز بمبادل حراري ثان يتبادل الحرارة بين هواء اعادة التنشيط المطروح الى الخارج والهواء المجهز الى المجمع الشمسي لتسخينه ابتدائيا.



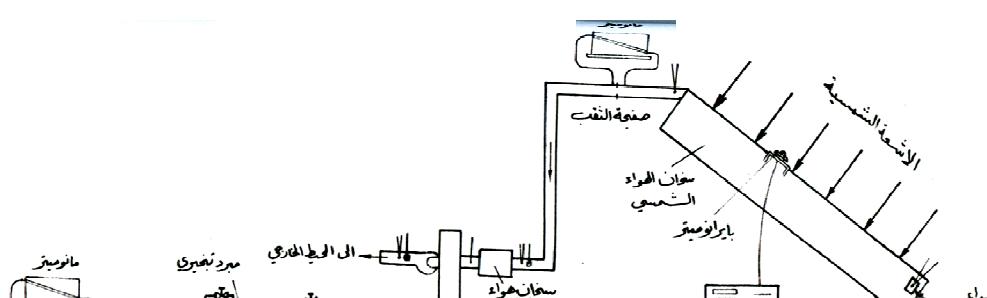
(a)



صنع ماضي في عام 1985 منظومة تكييف هواء امتيازية - تخريبة مفتوحة تستخدم الطاقة الشمسية طاقة حرارية اساسية داخلة الى المنظومة . اضافة الى استخدام الطاقة الكهربائية كطاقة مساعدة في تدوير الهواء والماء وافرشة التجفيف وكذلك تجهيز الطاقة الحرارية لمسخن هواء مساعد عند عدم توفر الطاقة الشمسية الكافية لاعادة تشغيل افرشة التجفيف ، ويوضح الشكل (29-6) هذه المنظومة تجهز المنظومة بالهواء من المحيط الخارجي بواسطة مجرى هوائي معزول حراريا بالصوف الزجاجي . ويجفف هذا الهواء بامتناز بخار الماء منه بواسطة مادة السليكاجل الحبيبية ، والمحشاة في قرص دوار مقسم الى جزئين معزولين عن بعضهما . تجري في احداهما عملية الامتياز بينما تجري في الثانية عملية اعادة تحرر بخار الماء الذي امتز في دورة تجفيف سابقة. لذلك فان افرشة السليكاجل تدور بين عمليتي الامتياز واعادة التشغيل . ويقوم محرك كهربائي بتدوير هذا القرص . يخرج الهواء المعامل من مزيل الرطوبة جافا وبدرجة حرارة مرتفعة بسبب اطلاق

حرارة امتناز بخار الماء ، وبواسطة مجرى مناسب يتم تجهيز الهواء المعامل الى مبادل حراري لانتزاع حرارته المحسوسة. حيث يستخدم ماء الاسالة كمستودع بارد لانتزاع حرارة الهواء المار حول انبيب الملف ذات الزعانف والتي يمر بداخلها ماء التبريد يبرد الهواء المعامل الى درجة حرارة بصلة جافة تبلغ 8 م° فوق درجة حرارة البصلة الرطبة لهواء المحيط الخارجي. وبعدها يبرد الهواء المعامل تبخيرياً بواسطة مبرد تبخيري يستخدم الحلفة المبللة بالماء الذي يتم التحكم بمعدل تدفقه بواسطة صمام يدوي . وبعد ذلك يجهز الحيز المراد تبریده بالهواء المعامل وبدرجة حرارة منخفضة لازلة حمل التبريد المطلوب.

اما هواء اعادة التنشيط فيجهز من سخان هواء شمسي اعد لهذا الغرض حيث يمر هواء المحيط الخارجي خلاله فيسخن. ويكون السخان الشمسي من غطاء زجاجي مفرد ، وصفيفة امتصاص مثلثة التضليع ، بزاوية تضليع مقدارها 60 درجة مصبوغة بطلاط اسود معتم يمر الهواء خلال المجاري التي تصنعها صفيحة الامتصاص المصبولة مع صفيحة مستوية خلفية . اما العزل الحراري للسخان من الاسفل والجوانب فتم باستخدام الصوف الزجاجي . جمعت هذه المكونات في هيكل من الخشب محمول على مسند حديدي لتوجيه السخان الى الجنوب مع قابلية تغيير زاوية ميلان المجمع الشمسي عن الافق بين 20 درجة صيفاً و 40 درجة شتاءً يخرج الهواء من السخان بدرجة حرارة معينة اعتماداً على شدة الاشعة الشمسية الساقطة وعلى درجة حرارة هواء المحيط الخارجي ومعدل تدفق الهواء خلال السخان . ويستخدم مجرى هواء مغلق بالصوف الزجاجي لتجهيز الهواء الساخن الى افرشة التجفيف في الجزء الذي تجري فيه عملية تحرر بخار الماء من السليكاجل . حيث ان ارتفاع درجة حرارته يؤدي الى تحرر بخار الماء الذي امتنزه في دورة سابقة وبذلك يعاد تنشيط مادة السليكاجل وتصبح جاهزة لدورة تجفيفية جديدة .



منظومة التبريد المركبة تجفيف - امتراز

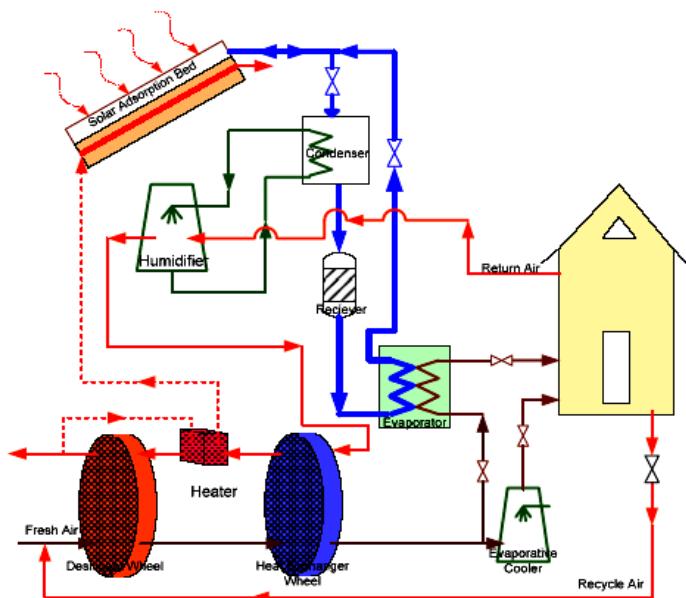
The Combined Adsorption Desiccant refrigeration system

هذه المنظومة اقترحت من قبل (Dai,Wang et al.(2002) الموضحة في شكل (6-30) وتكون من ثلاثة انظمة فرعية هي التبريد الامتراري المتقطع الصلب وازالة الرطوبة بالتجفيف ومخزن التبريد . ويستخدم الكاربون النشط والميثanol في المنظومة . درجة الحرارة المزيلة للامتراز من مادة الامتراز واعادة التنشيط لعجلات التجفيف تتراوح بين 80 - 100 ° .

هذه المنظومة مخصصة لتبريد منتجات الحبوب . وعادة الحبوب تحرر رطوبة لذلك يجب ازالة رطوبة الهواء من مخزن الغلال. السليكاجل اماء هي منظومة تجفيف فرعية تستخدم الهواء المجهز الى مخزن الغلال يتحصل عليه من منظومة التجفيف الفرعية خلال وقت النهار . الهواء المزال منه الرطوبة يبرد بواسطة المبرد التبخيري قبل دخوله الى البناءة . خلال الليل فان الهواء المزال منه الرطوبة يكون مبرد في المبخر بواسطة منظومة الامتراز الفرعية قبل دخوله الى مخزن الغلال .

يستخدم سخان كهربائي لتنشيط مواد التجفيف ويسطر على رطوبة الهواء الداخل الى المخزن . ويساعد في عملية ازالة الامتراز من المادة الممتازة. منظومة الامتراز الفرعية تعمل يشكل متقطع وتحصل عملية ازالة الامتراز عند توفر الطاقة الشمسية . سائل التبريد (ميثانول) يجمع في وعاء خلال عملية ازالة الامتراز . وتحصل عملية

الامتناز خلال الليل بينما الضغط ودرجة الحرارة للمادة الممترزة ينخفض بواسطة الحمل الطبيعي وشعاع السماء.



شكل (6-30): منظومة تبريد مركبة تجفيف - امتناز.

منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة ومنظومة التهوية

Solar-Driven Desiccant Cooling System with Rotation Wheel Integrated with the Ventilation System (MEC System)

هذه المنظومة تعمل بنظام تهوية بالزيوليت الطبيعي حيث يستخدم كمجفف

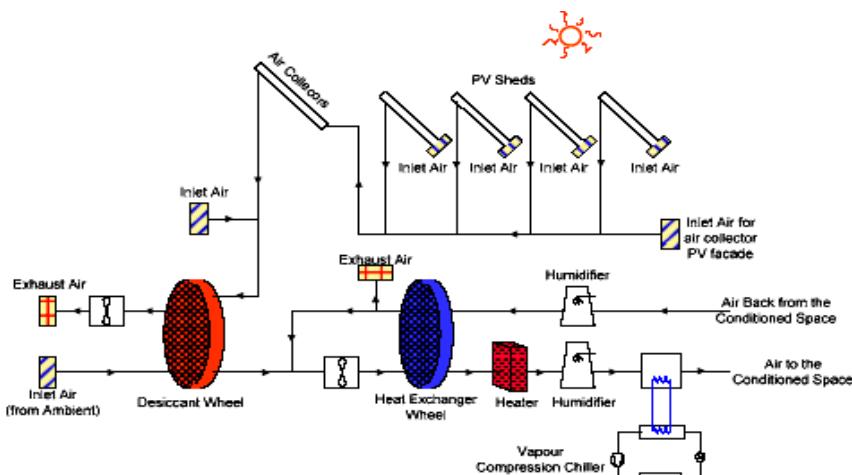
. الـ COP للوحدة هو 0.35 . كفاءة تحرير الطاقة 11.1 % تهديم EXERGY

الكبيرة في المنظومة هو ناتج من عمليات في عجلات التجفيف وهي محسوبة بحدود 33.8 % من كفاءة تحرير الطاقة الكلية الضائعة في المنظومة. هنالك منظومات مختلفة من هذا النوع بعضها يحتاج إلى سخان إضافي لتشييف مادة

التجفيف عندما يكون الاشعاع الشمسي ضعيف وكذلك وجود مبرد مساعد مثل ماكينة انضغاط البخار كما هو موضح في شكل (6-31).

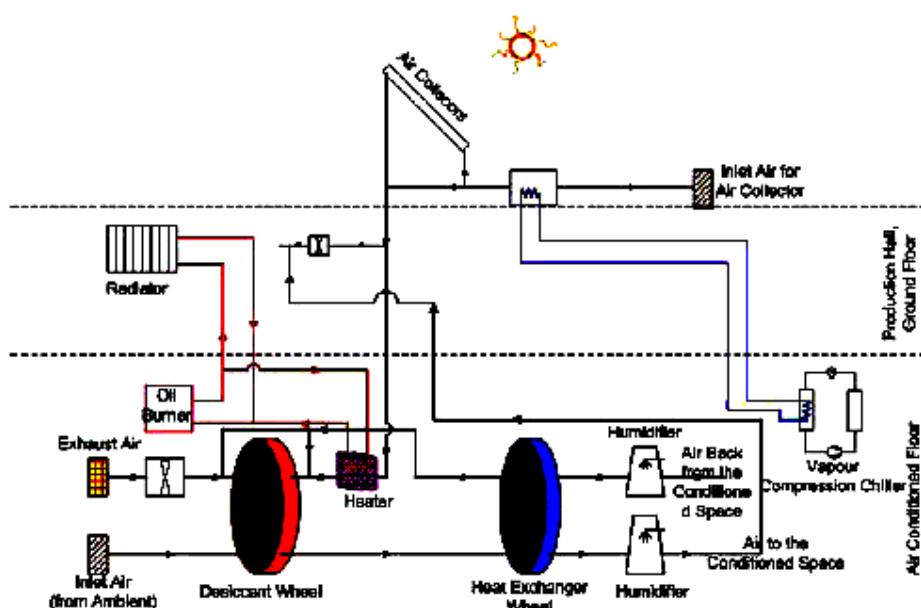
الهواء العائد من الحيز المبرد يمكن ان يعاد تدويره او يطرح خارجا اعتمادا على نوعية الهواء المطلوب لكل تطبيق. شكل (6-32) .

هناك منظومة تجفيف ذاتية التحكم تعمل بالطاقة الشمسية تحتوي على السيليكون ومجمع شمسي لتسخين الهواء . اداء المنظومة يكون افضل من حيث السيطرة على الطاقة المجهزة من المجمع الشمسي ، وتجنب انتقال الحرارة غير المرغوب فيه للدخول مع الهواء . COP يعتمد على تصميم المنظومة والتشغيل والظروف الجوية.

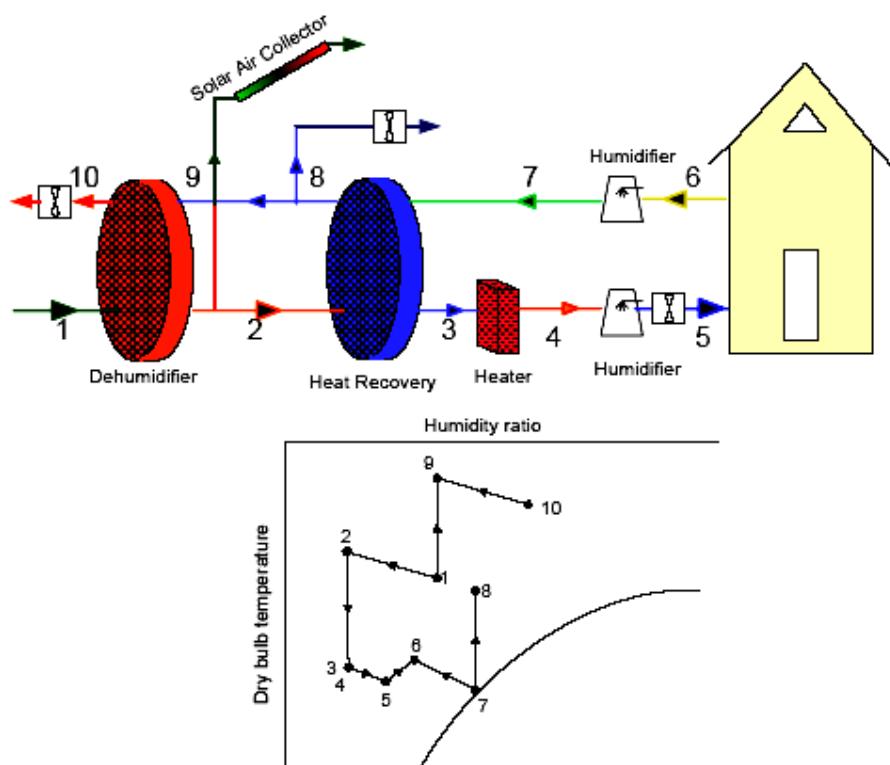


شكل (6-31): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة.

(Jakab et al..2003)



شكل (6-32): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة وبعد



شكل (6-33): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة ذاتية التحكم.
(Hindenburg *et al.*, 2004).

الفصل السابع

تسخين المياه بالطاقة الشمسية

ان انظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية لامتصاص الاشعاع الشمسي وتحويله الى طاقة حرارية تنتقل الى الماء الذي يجري فيها مما تؤدي الى تسخينه ثم ينتقل الى خزان معزول لاستخدامه فيما بعد.

انواع السخانات الشمسية

1- الانظمة ذات الجريان الطبيعي (*Thermosyphon*)

يستخدم هذا النظام في المناطق التي لا تتعرض الى الانجماد . الخزان الذي يجهز الماء الى المجمع الشمسي يوضع فوق الاخير بالقرب من مخرج ، اما في المناطق الباردة فيستخدم في الخزان مبادر حراري يحتوي على كلايكول يمر بالمجمع الشمسي وينقل حرارته الى الماء الموجود في الخزان.

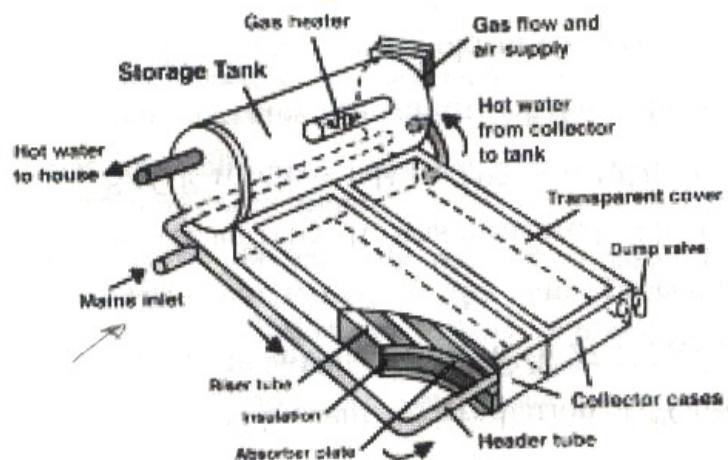
عندما تسقط اشعة الشمس على المجمع الشمسي ، فان الماء يسخن وتقل كثافته ويرتفع الى الاعلى ويدخل الى الخزان من الجزء العلوي منه بينما يجري الماء الى المجمع الشمسي من اسفل الخزان . ان انباب المجمع الشمسي يجب ان تكون ذات اقطار كبيرة لتقليل الضغط وتسهيل عملية تدوير الماء بصورة طبيعية.

ان هذا النوع من السخانات يحتاج الى تكاليف عالية لنصبه وكفاءته منخفضة في الاجواء الباردة بسبب الفقدان الحراري من الخزان ويسمى هذا النظام بالنظام المزدوج المغلق .



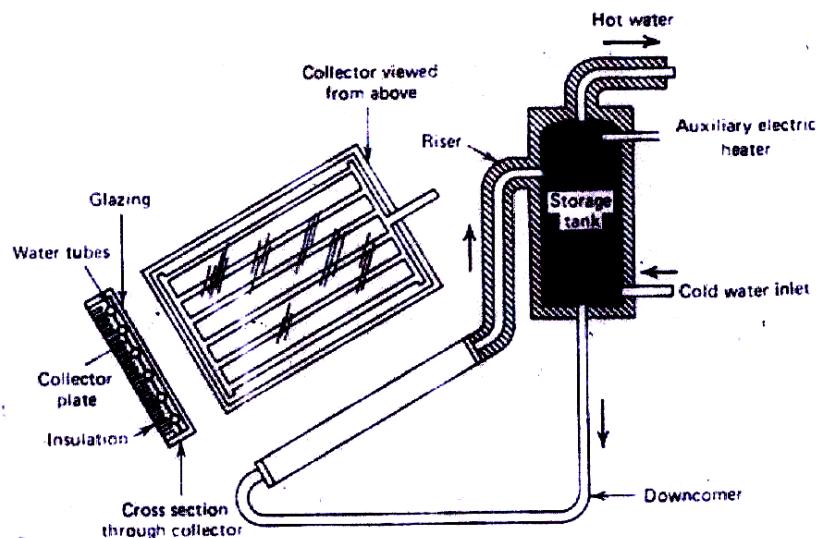
Solarart Pyramid

شكل (7-1) : صورة فوتوغرافية لسخان الماء الشمسي ذو الجريان الطبيعي المغلق.

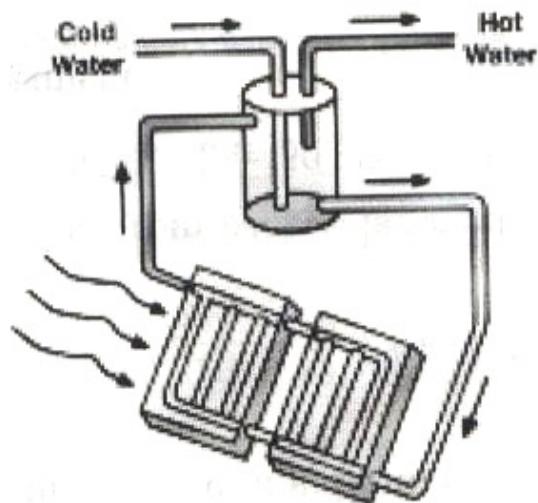


شكل (7-2) : سخان الماء الشمسي ذو الجريان الطبيعي المغلق.

هناك نظام اخر تكون فيه منظومة التغذية عن طريق الجاذبية *gravity-feed system* اذ ان الخزان منفصل عن المجمع الشمسي وتكون الانابيب ذات قطر كبير وكما هو موضح في الشكلين (7-3) و (7-4).



شكل (7-3): سخان الماء الشمسي ذو الجريان الطبيعي ذي التغذية الجانبية.

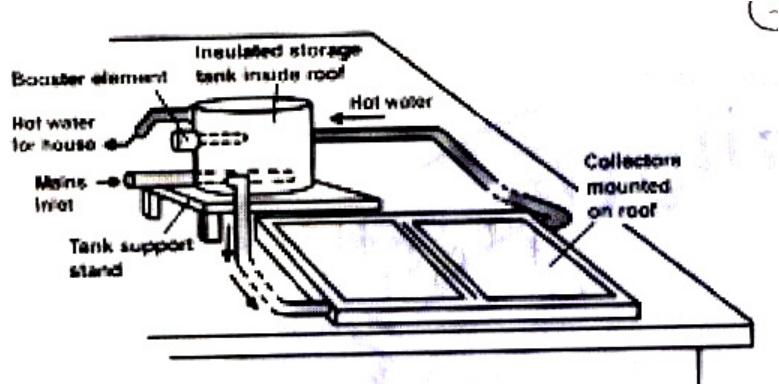


شكل (7-4): سخان الماء الشمسي ذو الجريان الطبيعي ذي التغذية الجانبية.

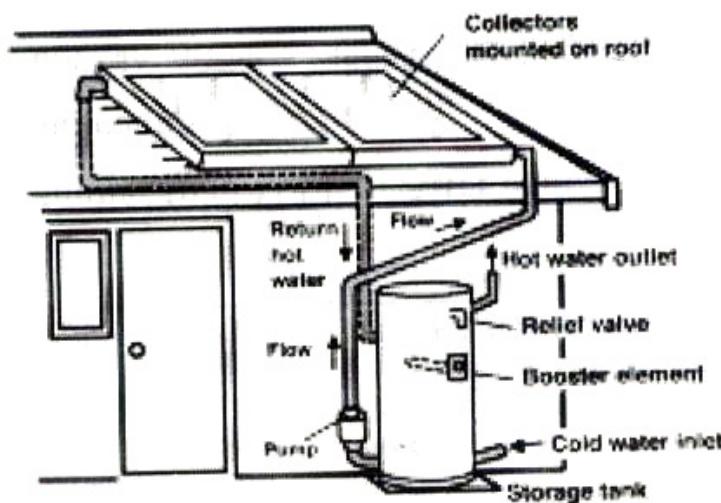
يطلق على أن أنظمة السخانات الشمسية ذات الجريان الطبيعي بالأنظمة المباشرة بسبب أن الماء يسخن بصورة مباشرة وبدون وسيط . في بعض الأحيان يكون الإشعاع الشمسي ضعيف وغير كاف لتشغيل المجمع الشمسي بسبب الغيوم او الغبار الكثيف، ونتيجة لذلك يستخدم سخان كهربائي او غازي لتسخين الماء ، وكما هو موضح في الشكلين (5-7) و (7-6).

الأنظمة ذات الجريان القسري Active system

في مثل هذه الأنظمة يتحرك الماء بين المجمع الشمسي والخزان بواسطة مضخة شكل (7-6). المجمع الشمسي ينصب على أماكن مرتفعة بينما الخزان يوضع على الأرض او أي موقع آخر ولا يكون فوق المجمع الشمسي ويصنع من الحديد المقاوم للصدأ او النحاس . هذه المنظومات اسعارها مرتفعة وتحتاج الى طاقة اكبر مقارنة مع المنظومات ذات الجريان الطبيعي بسبب زيادة الطاقة المطلوبة لتشغيل المضخة وتدوير الماء وكذلك فقد الحراري بين الخزان والمجمع الشمسي ، وتنخفض هذه التكاليف اذا استخدمت طاقة الرياح كمحرر قدرة للمضخة وعزل جيد للأنابيب والخزان . هذه المنظومات بعض الأحيان تربط مع سخان كهربائي ويستخدم في الحالات التي تكون اشعة الشمس فيها ضعيفة او منعدمة



شكل (7-5): سخان الماء الشمسي ذي الجريان الطبيعي ذي التغذية الجانبية مزود بسخان كهربائي.



شكل (7-6): سخان ماء ذو جريان قسري مزود بسخان كهربائي.

الحماية من الانجماد Freezing Protection

هناك طرق عديدة لحماية منظومات تسخين المياه بالطاقة الشمسية من تأثير الانجماد وهي كالتالي:

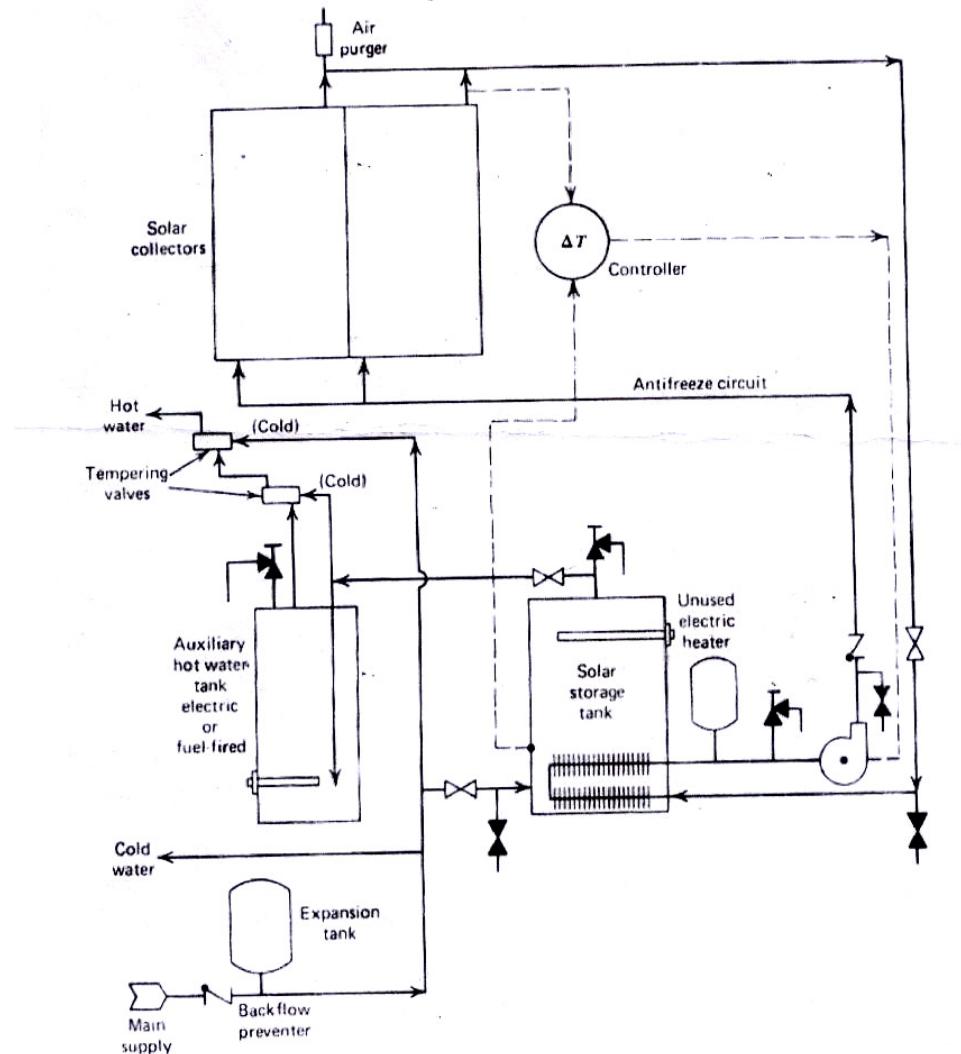
1- استخدام دورة مغلقة ذات مادة مقاومة للانجماد Antifreeze Cycle

ينكون هذا السخان كما في شكل (7-7) من مجمع شمسي يستخدم لتسخين المادة المقاومة للانجماد مثل Athyle و Propylene و Silicon Oil اذ ان هذه المواد لا تتعرض الى الانجماد عند درجات الحرارة المنخفضة في الاجواء الباردة ، ومضخة تستخدم لتحريك السائل المقاوم للانجماد ، وهنالك خزان يملأ بالماء المراد تسخينه ويوجد في اسفله مبادل حراري مزعنف يستخدم لغرض تسخين الماء الموجود في الخزان ، وايضا تحتوي المنظومة على خزان التمدد اذ يحمي السائل المقاوم للانجماد من التمدد الحراري.

يزود الخزان ايضا بسخان كهربائي ، وهنالك خزان اخر مساعد مزود بسخان كهربائي متصل مع الخزان الرئيسي عن طريق انبوب مزود بصمام. يتم التحكم بالمنظومة بشكل كامل عن طريق منظمات للحرارة تسيطر على عمل المنظومة من خلال التحكم بدرجات الحرارة المطلوبة.

في اليوم المشمس تقوم المضخة بدفع السائل المقاوم للانجماد الى اجمع الشمسي وبذلك يسخن ويعود الى المبادل الحراري في الخزان مما يؤدي الى رفع درجة حرارة الماء الموجود في الخزان. وعندما يصل الى الدرجة الحرارية المطلوبة مثلا 65 درجة مئوية فانه ينتقل الى الخارج عن طريق فتح الصمام الحراري ، وعند عدم كفاية المجمع الشمسي على تسخين الماء بسبب ضعف الاشعاع الشمسي فان السخان الكهربائي سوف يعمل ويساعد المجمع على رفع درجة حرارة الماء الى الدرجة المطلوبة ، اما اذا كانت درجة حرارة الماء عالية جدا فان الصمام الحراري يسمح للماء البارد المجهز الى المنظومة ان يختلط مع الماء الحار ويوصله الى الدرجة المطلوبة.

ان المضخة تعمل عندما يكون الاختلاف بدرجات الحرارة بين المجمع الشمسي والخزان 10 درجات مئوية وتتوقف عندما يكون الاختلاف واحد او صفر درجة مئوية ، كما ان المسيطرات الحرارية تمنع حصول حالة الغليان للماء عن طريق ايقاف عمل المضخة.

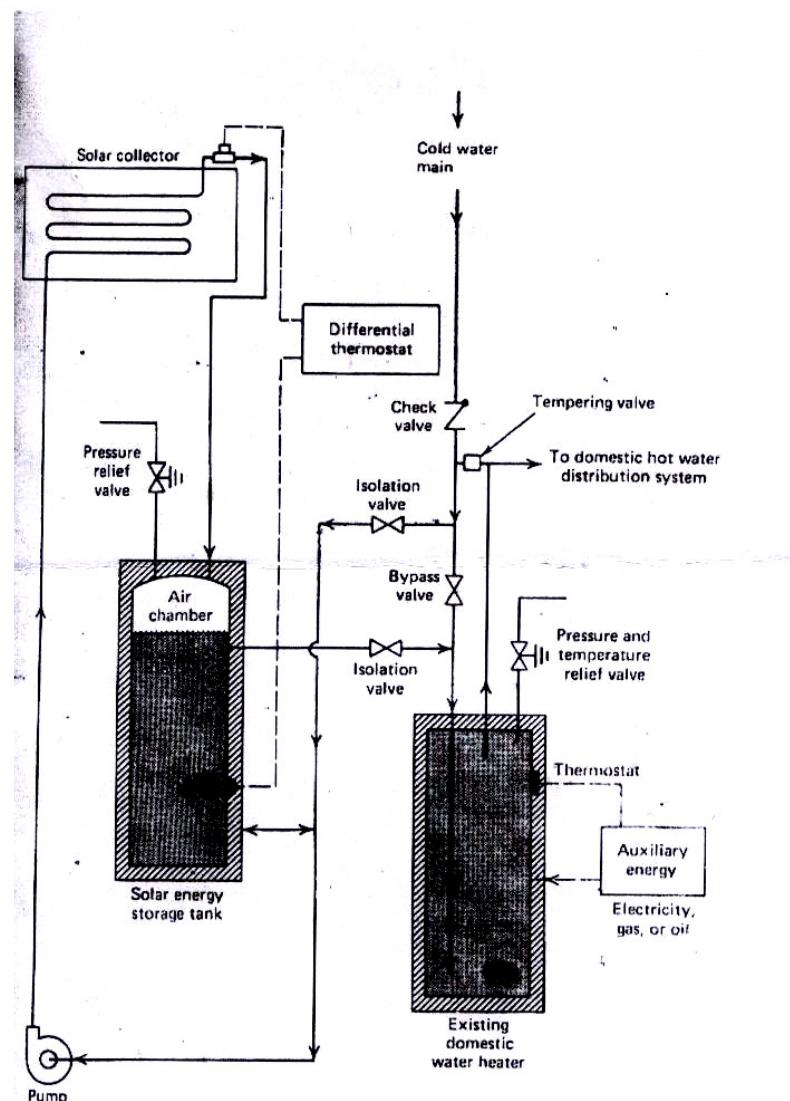


شكل (9-7): سخان شمسي مقاوم للانجماد.
(Lunde, 1980).

منظومات البزل التحتية Drain Down Systems

هذا النظام هو افضل من النظام الذي يستخدم المواد الكيميائية مثل الكلريلوكول في مقاومة الانجماد وما ينجم عنه من مشاكل متعددة . يقوم هذا النظام ببذل الماء من المجمع الشمسي عند توقف المضخة وخصوصا اثناء الليل واحلال الهواء محله وبذلك يمنع تجمد الماء فيه في الاوقات الباردة جدا.

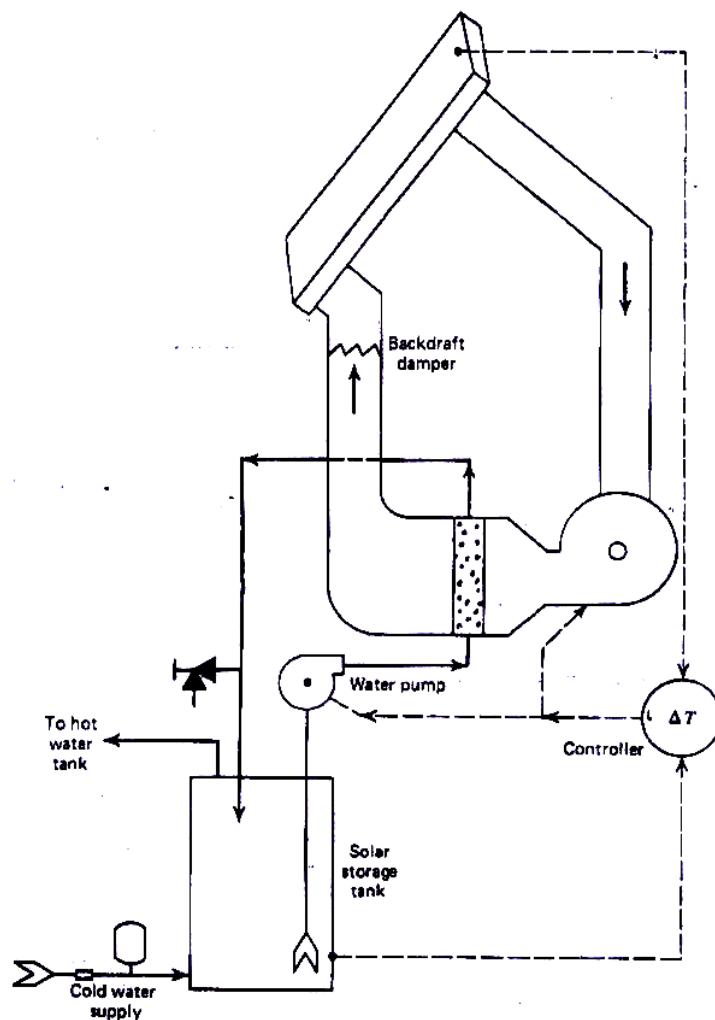
تحتوي هذه المنظومة على خزان للماء مصمم بحيث يبقى في الجزء العلوي منه فسحة هوائية فوق الماء ، اذ عندما تتوقف المضخة فان هذا الهواء سوف يرتفع الى الاعلى ويحل في انباب المجمع الشمسي والماء ينزل من المجمع راجعا عبر المضخة الى الخزان. المنظومة مزودة بمصدر للطاقة المساعدة مثل السخان الكهربائي او الغازى ، كما موضح في شكل (7-8).



شكل (7-8) : سخان ماء شمسي مزود بمنظومة البزل
التحتى. (Lunde, 1980)

2- منظومة الهواء الحار Hot Air System

ويتم فيه تسخين الماء بواسطة الهواء ، وهو نظام بسيط جدا ، اذ ان الماء يدور في انبوب موجودة بداخل انبوب كبير يمر به هواء حار ناجم عن التسخين بواسطة المجمع الشمسي والذي يتحرك بفعل مروحة فيصطدم الهواء في الانابيب ذات الزعانف والتي يجري بداخلها الماء بواسطة مضخة مما يؤدي الى تسخينه ورجوعه الى الخزان ومن الاخير يجهز للاستعمال وكما هو موضح في شكل (7-9).



شكل (7-9) : سخان ماء شمسي مزود بنظام
الهواء الحار. (Lunde, 1980).

تسخين اولي للماء المراد تسخينه Hot Water Pre heating

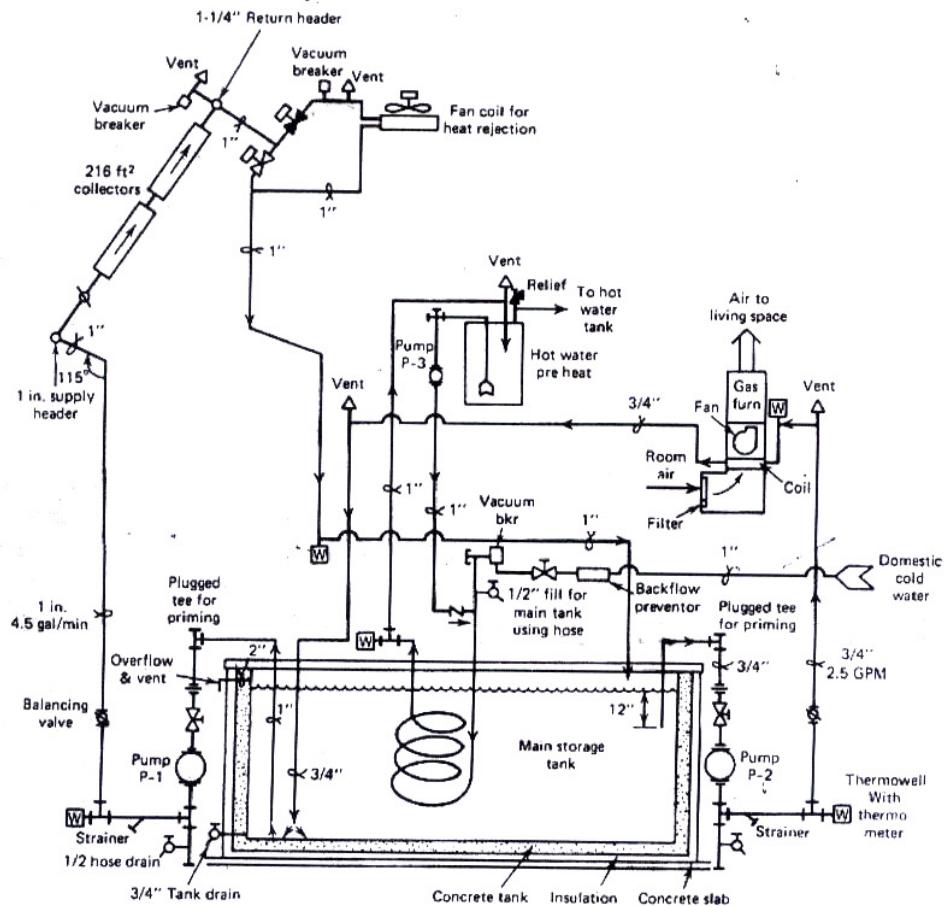
يتم تسخين الماء الموجود في الخزان الرئيسي بوساطة الطاقة الشمسية عن طريق المجمع الشمسي . اذا كانت درجة الحرارة للماء الموجود في الخزان الرئيسي اقل من 50 درجة مئوية اثناء عمل المجمع الشمسي فان هنالك طاقة مساعدة للمنظومة تساعده على رفع درجة حرارة الماء للوصول الى الدرجة المطلوبة ، اما اذا كانت الطاقة الشمسية غزيرة يتوقف استخدام الطاقة المساعدة.

يوجد بداخل الخزان الرئيسي ملف ذو زعانف يمر بداخلة الماء من خلال مائع الجريان العكسي ويحصل تبادل حراري بينه وبين الماء الساخن الموجود في الخزان والذي سبق تسخينه بالطاقة الشمسية . هذه المنظومة تحتوي على مبذل للمجمع الشمسي واخر للخزان الرئيسي ، يقوم ببذل الماء من المجمع الشمسي عند توقف المضخة وكما هو موضح في شكل (10-7).

التدوير للماء الموجود بملف التسخين بالفراغ لا يحتاج ان يكون مضغوطا ، بينما الماء الموجود في الخزان تقوم المضخة بتدويره والاخيرة تقع خارج الخزان . عندما يصل الماء الى درجة الغليان فإنه سوف يدور الى ملف التبريد الموجود بالقرب من المجمع لحماية المنظومة من الغليان.

عندما تتوقف المضخة 1-p فان المبذل ينفتح وان الضغط عند مدخل المضخة يكون بحدود 70 سم من الماء فوق الضغط الجوي عند سطح الخزان ، وسوف يسقط الماء من المجمع ويمر عبر المضخة الى الخزان عن طريق الجاذبية والضغط يكون متساو على جانبي المضخة.. اذا لم توجد فتحات للتهدية في المنظومة سيحصل فيها تخلخل بالضغط ويمسک الماء في الاعلى ولايحصل له بزل ، ولكن بوجود مانعات حصول التخلخل فانها تسمح للهواء الجوي بالدخول الى المنظومة ويزيرح الماء منها . ان قطر الانابيب في المجمع الشمسي والانابيب الناقلة اليه على الاقل

2 سم.



شكل (7-10) : سخان ماء شمسي مزود بمنظومة تسخين اولي.

الفصل الثامن

إنتاج الماء المقطر بالطاقة الشمسية Solar Stills

تستعمل الطاقة الشمسية في انتاج الماء المقطر عن طريق المقطرات الشمسية التي هي عبارة عن حوض ذو قاعدة سوداء اللون وسطح زجاجي مائل بزاوية ويكتفى على سطحه الداخلي بخار الماء الناتج من تسخين قاعدة الحوض . ان كلفة هذه المقطرات عالية ويستفاد منها بالإضافة الى الماء المقطر الاملاح وهي افضل من تلك التي تنتج عن طريق البرك.

وصف Aristotle في القرن الرابع قبل الميلاد طريقة لتبخير الماء وتكثيفه ويكون جاهزا للاستعمال. بين Cooper بان الكيميائيين العرب كانوا يعرفون مسبقا استعمال التقطير الشمسي *solar distillation* لانتاج الماء المقطر في القرن السادس عشر Necolo Glaeazzi . صنع اول جهاز لانتاج الماء المقطر عام 1742م بواسطة الايطالي الا انه لم يكن معروفا كمفهوم او كبناء.

ان اول مقطر شمسي حديث صنع في عام Chile و Las Salinas في عام 1827 بواسطة Charles Welson يتكون من 64 حوض للماء (المجموع الكلي 4459 م^2) مصنوع من الخشب الاسود مزود باغطية مائلة . وهذا المقطر يجهز 20000 لتر باليوم واستمر العمل على هذه المقطرات من عام 1912 ولغاية عام 1940.

خلال عام 1950 انتعشت الفائدة من التقطير بالطاقة الشمسية وكان الهدف منه لتطوير وحدات تقطير الماء ذات مركبات كبيرة centralized . كما ان الهدف منها في كاليفورنيا هو لتطوير وحدات لها القدرة على انتاج مليون غالون او 3775 م^3 باليوم ، وبعد عشر سنوات من الابحاث استنتج ان وحدات التقطير الشمسية الكبيرة كانت مكلفة جدا مقارنة مع الوحدات التي تعمل بحرق الوقود.

في عامي 1960 و 1970 بنيت 38 وحدة لانتاج الماء المقطر في دول عديدة تتراوح سعتها من مئات قليلة الى حوالي 30000 لتر من الماء يوميا.

النظيرية العامة لتقدير الماء بالطاقة الشمسية

تم عمليات التقدير بوساطة هروب جزيئات الماء وانتقالها من سطح الماء الى الاعلى بشكل غازات والحرارة المحسوسة يمكن قياسها بوساطة الترموميتر وهي ناتجة عن حركة الجزيئات بشكل متدرج دائما ، ماعدا تلك التي لا تتحرك عند نفس السرعة ، وان اضافة طاقة اليها يجعل من حركة الجزيئات وهروبها من السطح لتصبح بهيئة غاز.

لكي يحصل التبخر فانه يحتاج الى طاقة وان الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة 1 كغم من الماء بدرجة صفر مئوي الى 100 درجة مئوية تحتاج الى 5.5 مرة اكثرب من تلك المستخدمة لتبخير الماء من 100 درجة مئوية الى بخار بدرجة حرارة 100 درجة مئوية وهذه العملية عكسية في حالة التكتيف.

ان الاملاح والمعادن لاتتبخر مع بخار الماء لانها تحتاج الى درجات حرارة تصل الى 1400 درجة مئوية حتى تتبخر معه الا انها تبقى ببهيئة محلول ملحي بعد تبخر الماء منه. لا يحصل غليان للماء عندما يتبخر بالطاقة الشمسية وهو اكثرب نقاوة لانه عند الغليان تتكسر الفقاعات وتلوث الماء النتاج ب قطرات صغيرة جدا من الماء السائل.

تم عملية تقدير الماء بالطاقة الشمسية بوساطة نفوذ الطاقة الشمسية خلال الغطاء الزجاجي وتقوم بتسخين الماء المالح *brine* او ماء البحر الموجود في حوض معين مما يؤدي الى تبخر الماء ويرتفع البخار ويتكثف على الجدار الداخلي للزجاج ويتحرك باتجاه الاسفل ويتجمع في وعاء يسمى *trough*.

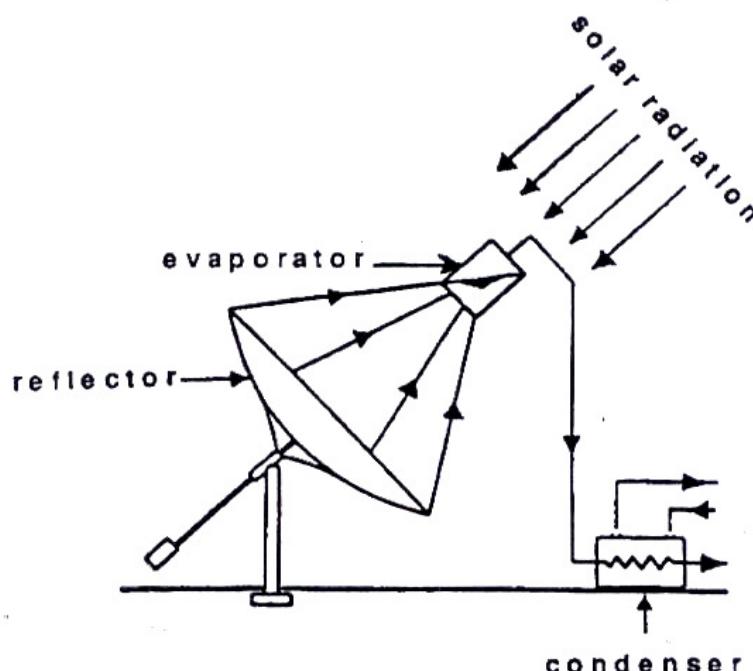
أشعة الطاقة الشمسية هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية صغيرة تمر خلال سطح شفاف نظيف كالزجاج وتسقط على سطح داكن بشدة ، وهنا يتغير الطول الموجي لهذه الاشعة فتصبح موجات حرارية طويلة وتضاف الى الماء الموجود في حوض ضحل اسفل الزجاج مما يؤدي الى تسخين الماء وتبخره. البخار الساخن يرتفع الى المساحة السطحية الباردة ولهذا فان كل المواد غير المرغوب بها ستبقى في الحوض. البخار يتكون على السطح الداخلي للزجاج البارد على شكل قطرات ، تتحرك هذه القطرات بسبب ميل الزجاج الى منطقة مخصصة لجمع الماء النقي عبر

قناة لغرض خزنه. ان اقل من نصف طاقة الاشعاع الشمسي الساقطة على المقطر الشمسي تستخدم لغرض تبخير الماء. وتصل كفاءة المقطرات التجارية الى 45-30 %. اما الكفاءة القصوى فتصل الى اكثرب من 60 % وتحسب الكفاءة كالتالى : الكفاءة % = الطاقة المطلوبة لت bxir الماء وتحويله الى ماء مقطر / طاقة الاشعاع الشمسي الساقطة على المقطر.

انواع اجهزة انتاج الماء المقطر بالطاقة الشمسية

1- جهاز التقطير الشمسي ذو المجمع المركز *Concentrating Collector Solar Still*

تنعكس الاشعة الشمسية من الطيف كالمرأة من بؤرة الأشعة الشمسية على وعاء التبخير المغلق وتؤدي الى رفع درجة حرارة الماء الموجود بداخله بصورة كبيرة مما يؤدي الى تbxir الماء ثم ينقل البخار الى غرفة منفصلة لغرض تكثيفه ثم يخزن بعد ذلك ، كما في شكل (8-1).

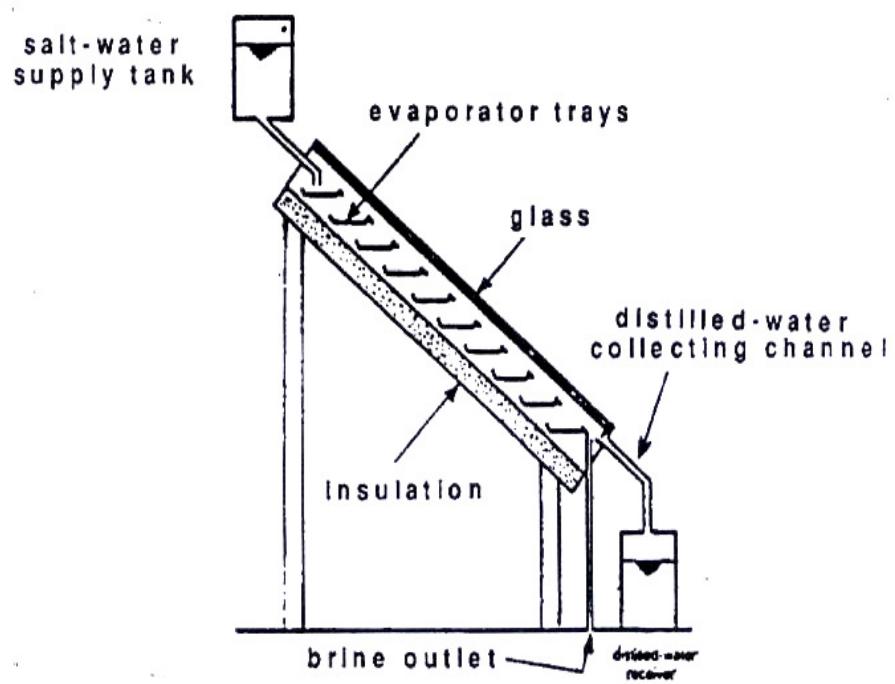


شكل (8-1): جهاز التقطير الشمسي ذو المجمع المركز.
(Leekie et al., 1981)

2- جهاز التقطير الشمسي المائل المتعدد الرفوف Still

يتكون هذا الجهاز من مجموعة من الاطباق الافقية الضحلة ذات اللون الاسود موضوعة في وعاء معزول مزود بغطاء زجاجي شفاف من الاعلى. بخار الماء ينثف على السطح الداخلي للزجاج ويجري باتجاه الاسفل الى ان يتجمع في قناة الخزن النهائي.

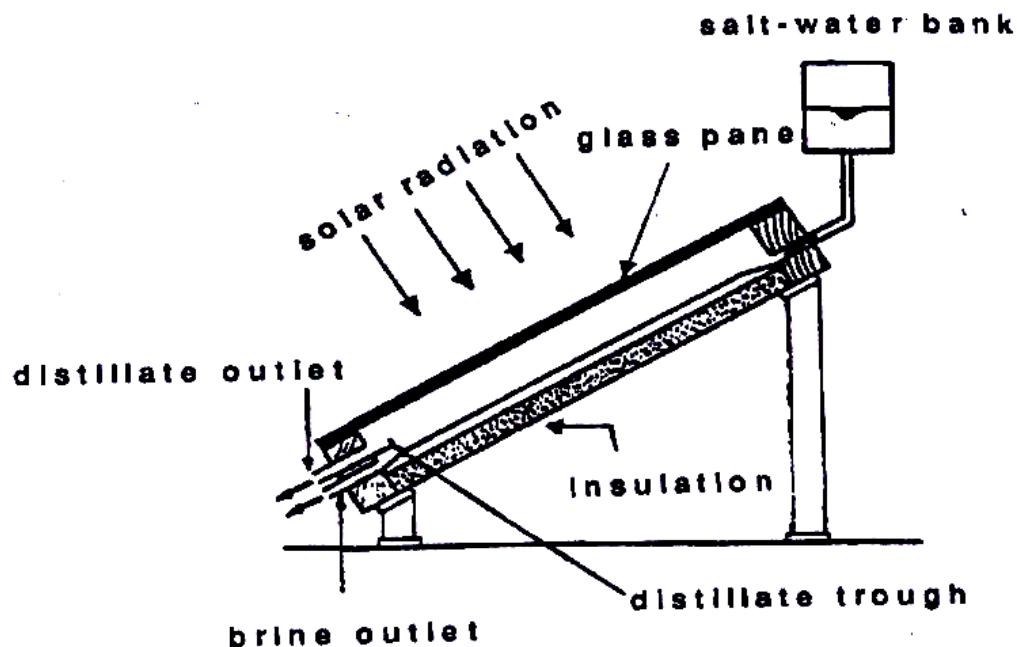
يستخدم هذا النوع من اجهزة التقطير في المناطق ذات خطوط العرض الكبيرة ، بسبب ان الوحدات الكاملة يمكن ان تكون مائلة لتسهيل اشعة الشمس تسقط بصورة عمودية على سطح الزجاج. ان ميزة الميل يجعل تاثير التغيير في موقع الشمس على المقطر قليل الاهمية عندما يكون الموقع بالقرب من خط الاستواء وان الكفاءة المقاسة كانت فوق ال 50 %. عمليا هذا التصميم يبقى مثير للشك نتيجة لطبيعته المعقدة في البناء لانه يتطلب مكونات عديدة وزيادة تكاليف الاطباق المتعددة ومتطلبات الحامل وكما في شكل (2-8).



شكل (2-8): جهاز التقطير الشمسي المائل المتعدد الرفوف.
(Leekie et al., 1981)

3- جهاز التقطير الشمسي المائل ذو الفتيلة *Tilted Wick Solar Still*

في هذا الجهاز يسحب الماء من إناء يحتوي على الألياف من الأعلى ويفعل الخاصية الشعرية للألياف لتوزع الماء فوق السطح الداخلي من الفتيلة بشكل طبقة رقيقة ويعرض الماء إلى أشعة الشمس. هذا التصميم يسمح لأن تكون درجة حرارة طبقة الماء الرقيقة عالية بحيث تكون أعلى مما لو كان فقط ماء ، وهذا التصميم كفؤ لتصميم الأطباق المائلة ولكن استعماله محدود بسبب التكاليف العالية ويحتاج إلى التنظيف المستمر للفتيلة من التربسات ، كما أنه يحتاج إلى استبدال الفتيلة السوداء في الأحواض المستطيلة نتيجة لتبخره بسبب الشمس والتلف الفيزيائي بوساطة الأشعة فوق البنفسجية ، وعدم ترطيب الفتيلة سوف ينتج بقع جافة تؤدي إلى خفض الكفاءة.

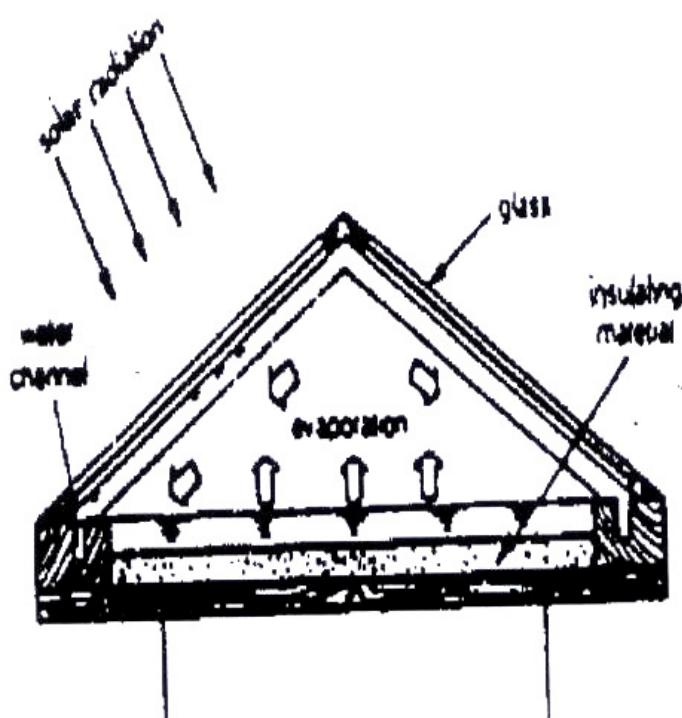


شكل (8-3): جهاز التقطير الشمسي المائل ذو الفتيلة

(Leekie et al., 1981)

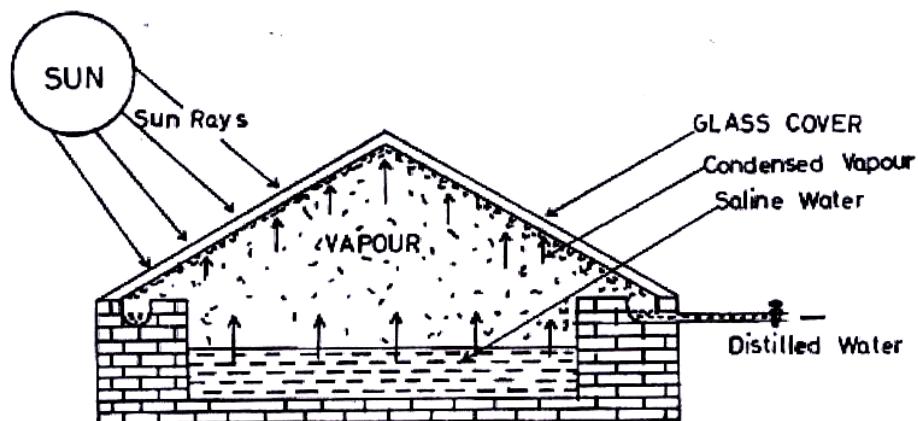
جهاز التقطير الحوضي *Basin Still*

وهو من الاجهزه الشائعة الاستعمال كما في شكل (4-8). الاجزاء الرئيسية التي يتكون منها هي الحوض وهيكل الاسناد والغطاء الزجاجي وقناة تجميع الماء ، اما المكونات الثانوية فهي العازل والمادة المانعة للتسرب وانابيب وصمامات وغطاء زجاجي لحماية مكوناته من الجو وعاكس لتركيز الاشعة الشمسية.



شكل (4-8): جهاز التقطير الشمسي الحوضي.

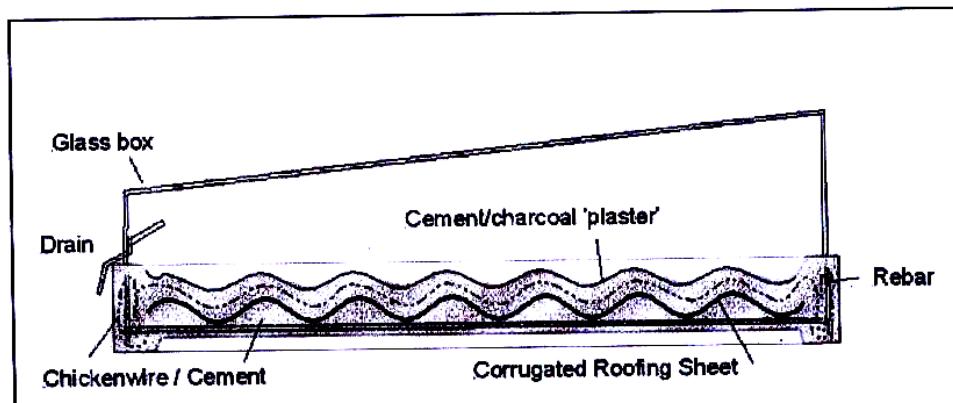
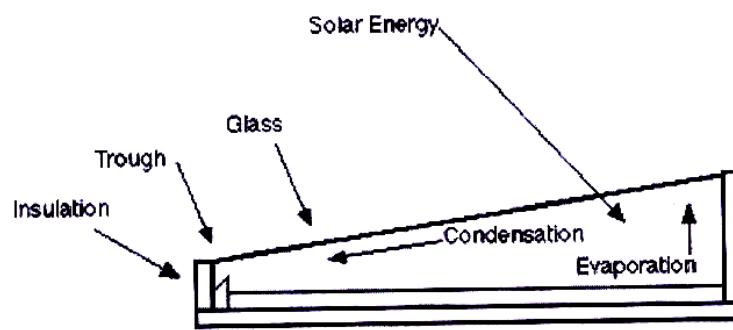
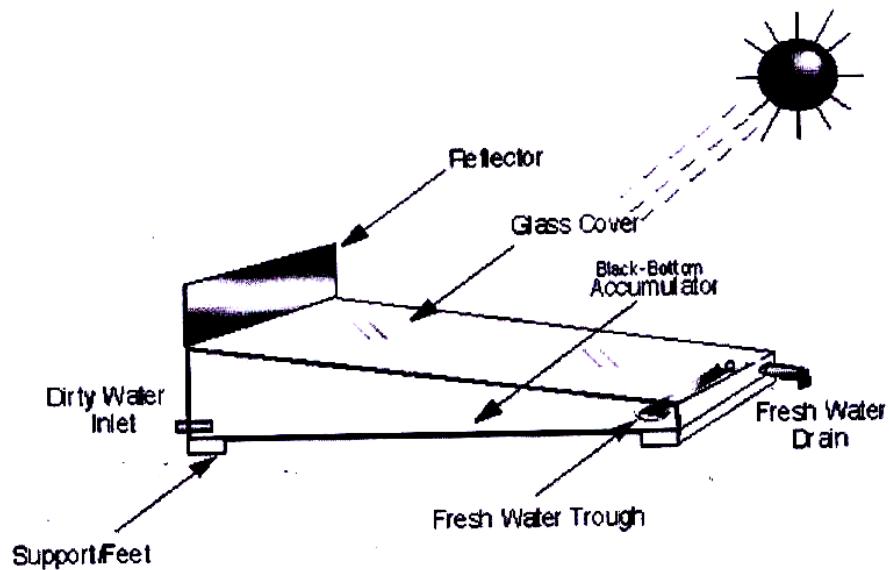
(Leekie et al., 1981)



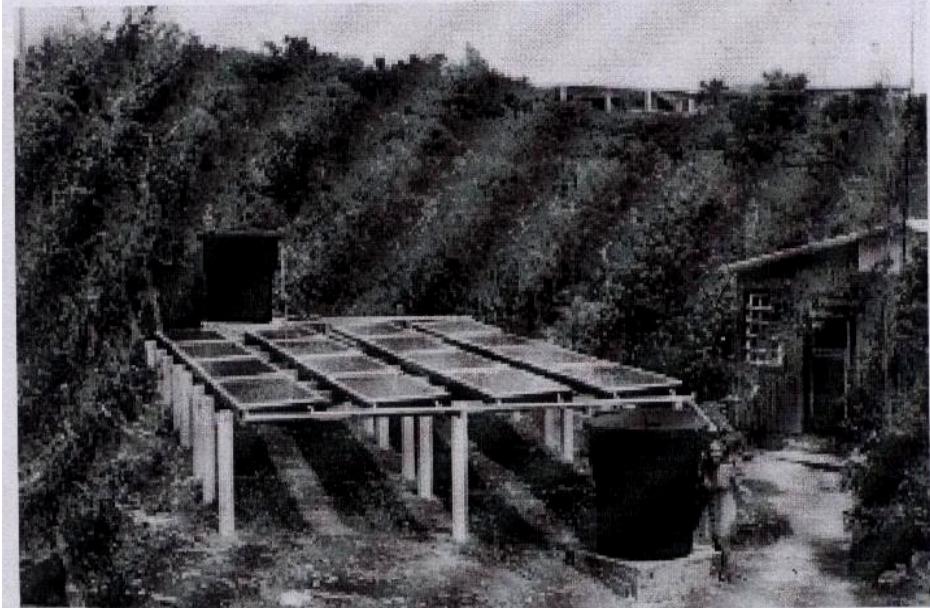
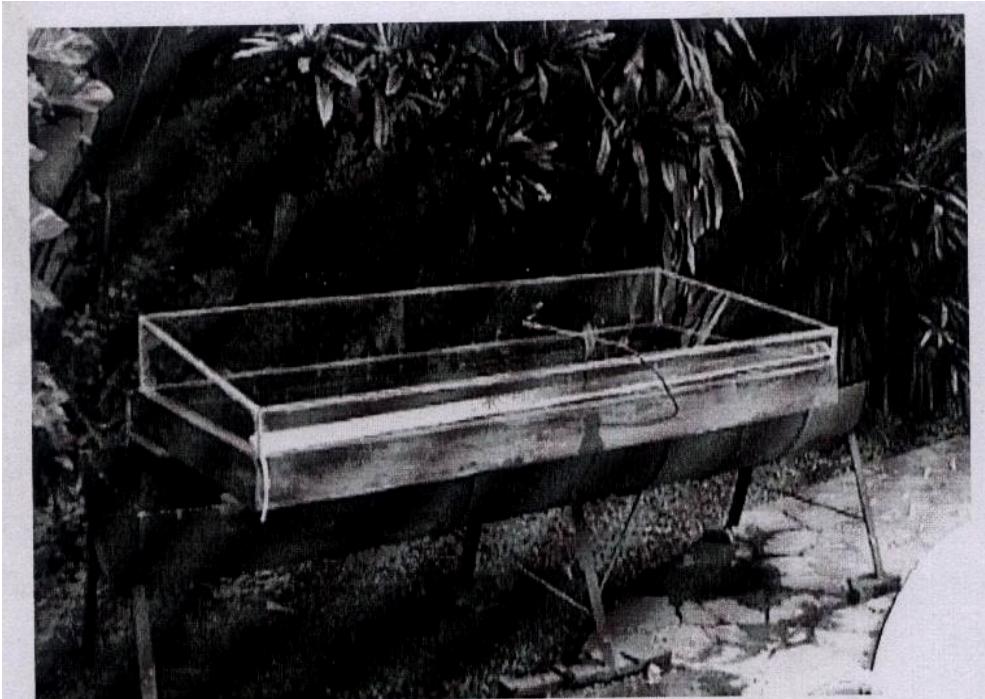
شكل (8-5): جهاز التقطر الشمسي الحوضي.



شكل (8-6): صورة لجهاز التقطر الشمسي الحوضي.



شكل (7-8): جهاز التقطير الشمسي الحوضي.



شكل (8-8): جهاز التقطير الشمسي الحوضي.

الابعاد الفيزيائية للمقطر الحوضي *Physical Dimensions the Basin Still*

الابعاد الحقيقية له متغيرة وتعتمد بصورة كبيرة على مدى توفر المواد الاولية ومتطلبات الماء وموقع الارض. اغلب الحجوم للمقطرات تتراوح بين 2/1 - 22/1 م العرض الى الطول على التوالي وهذا المدى يصل الى حوالي 100 م من هذه الابعاد ، عادة تعمل على طول محور شرق الغرب لغرض الحصول على اقصى طاقة اشعاع شمسي خلال مواجهته لخط الاستواء.

ان الوحدات من نوع *residential appliance* تستعمل زجاج ابعاده حوالي 0.65 - 0.9 م العرض ، والطول يتراوح بين 2-3 م وعمق الماء 1.5 سم على الاغلب. ان الاعماق الكبيرة للماء في احواض المقطرات له فائدة في خزن الحرارة اثناء الليل لتعزيز الانتاج عندما تكون درجة حرارة الهواء منخفضة. كفاءات المقطرات ذات الاحواض غير العميقه بلغت 43 %. اما اذا كان الحوض ضحل فانه سوف يجف وتترسب الاملاح فيه وهي غير جيدة.

من الملاحظ ان الطاقة الحرارية الشمسية يمكن ان تخسر حوالي 0.5 سم من الماء في الصيف في يوم صحو ، بينما عندما يكون العمق 1.5 سم فان الاملاح تكون بهيئة محلول ملحي ويمكن غسله عن طريق اعاده مليء المقطر بالماء.

متطلبات مواد المقطرات الشمسية الحوضية

اختيار المواد لتصنيع المقطرات التي تكون بتناس مع الماء هي بحد ذاتها مشكلة فهناك مواد بلاستيكية استعملت لذلك ولكنها لم تنجح بسبب وجود طعم للمواد البلاستيكية في الماء. هنالك تجربة لمعرفة مدى تاثير المواد المصنعة منها المقطرات على طعم الماء المقطر الناتج ، وذلك باخذ ماء مقطر ووضع قطعة معدنية او بلاستيكية فيه ويغلي لمدة نصف ساعة الى ساعة ثم يبرد وبعد ذلك يذاق طعم الماء الناتج مقارنة مع الماء الاصلي ويمكن اجراء هذه التجربة على ال PVC وانبوب من البولي اثيلين والواح الفايبركلاس.

المكونات الأساسية للمقطر الشمسي الحوضي

1- الحوض

يحتوي الحوض على محلول ملحي (*brackish saline*) ومنه يتم الحصول على الماء المقطر وان السطح تحت الماء يجب ان يكون اسود اللون . بشكل عام هنالك نوعين من هذه المقطرات ، النوع الاول يصنع من مواد تحفظ بشكلاها ومجهز سطحها الداخلي بمشمع *water proof* . اما النوع الثاني فهي مجموعة واحدة تتكون من مواد مثل الخشب او الطابوق .

ان عملية اختيار المادة الملائمة لتصنيع الحوض هي مشكلة في تصنيع المقطر الشمسي ، ويستخدم مانع التاكل *anti-corrosive* لتغطية المعادن التي تميل الى التاكل لحل مشاكل التاكل التي تحدث عند خط الماء والذي يؤدي الى فصل الحوض المصنوع من المعدن. الاحواض المصنوعة من النحاس تتعرض للتاكل عند استعمالها لسنوات قليلة وكذلك المصنوعة من الحديد المغلون *galvanized steel* والالمنيوم غير المغلون فانه يتاكل خلال اشهر قليلة وحتى المصنوع من سبيكة الالمنيوم.

نحدث عدة تفاعلات كيميائية مزدوجة عند زيادة كل 10 درجات مئوية في درجة الحرارة بينما الالمنيوم يحافظ على قوته لمدة 20 سنة في ماء البحر على درجة 25 درجة مئوية اما اذا كانت درجة الحرارة 50 درجة مئوية فان مدة تلفه من سنة الى سنتين .

الحديد المطلية بالخزف *porcelain-coated steel* يمكن ان يقاوم التاكل لسنوات قليلة . العمر الاقتصادي للمقطر المصنوع من الخزف هو 5 سنوات ، ويمكن بقاءه لفترة اطول وذلك باصلاحها بواسطة السيلكون المطاط . هنالك محاولات لاستعمال الكونكريت لانه رخيص وسهل العمل ولكن عمره ليس طويلا بسبب التشققات التي تحدث به وغالبا بعد سنة ، والكونكريت يمتص الماء ولا يخرج له بكنه ينقع ، واذا كان الماء ملحي فانه يؤدي الى تلف البناء الكونكريتي .

البلاستيك يحدث فيه عفن *mold* ماعدا الزجاج والبلاستيك المغطى بالزجاج والستيرافوم *Styrofoam* تكون سهلة ورخيصة ولكنه يذوب عند حوالي 70 درجة

مؤدية. رغوة *urethane* تاثرها اقل وأن ابعادها تتغير ، وكفاءة المقطرات المصنعة منها تتأثر لأن نسبة كبيرة منه لاتترطب ولا تنتقل بالتوصيل الى الحجم غير المرطب بشكل جيد.

الفايركلس لايمكن استعماله في صناعة المقطرات لانه يكون في حالة تماس مباشر مع الماء اما على شكل سائل او بخار . الايبوكسي والبولستر *epoxy,polster* وهذا ينقل الطعم والرائحة الى المقطر ويبقى فيه لمدة سنوات وحتى لو غلفت هذه المواد بمودع اخرى تمنع اتصالها بالماء فان الرائحة ستنتقل الى المواد المغطية ومنها الى الماء. الالمنيوم المغلف بالسيليكون المطاطي له م坦ة كبيرة يمكن ان تبقى لعدة 10 - 15 سنة ، ان مئات الشركات المصنعة للمقطرات الشمسية تستخدم هذه المادة في التصنيع وان عملية التغطية تتم يدويا بواسطة روله خاصة. بالرغم من استعمال الحديد المقاوم للصدأ الا ان نجاحه في هذا المضمار ضعيف.

المهيكل المساند *Support Structure*

ويشمل جوانب المقطر بالإضافة الى الحوض ومساند الغطاء الزجاجي وهذه المساند يجب ان تكون منفصلة . الاختيار الاول لبناء المساند هو الخشب ، المعدن ، الكونكريت ، البلاستك ، . اختيار نوع المسند يعتمد اولا على توفر المادة محلية ، كما ان هيكل او اطار الزجاج يجب ان يكون حجمه صغير لكي لايسكب ظل على الزجاج. الخشب يحصل فيه انحاء وتشقق وتعفن ومهاجمة الارضية لذا يجب اختيار خشب ذو نوعية جيدة مثل الصنوبر *cypress* بحيث يقل المشاكل التي تم ذكرها. المعدن يمكن ان يستخدم كمسند ولكنه يحصل فيه تأكل ولا يحصل فيه انحاء ويبقى مستقيما ولكن يحصل فيه تآكل ويجب ان يؤخذ ذلك بنظر الاعتبار.

في الغالب يصنع الهيكل من الالمنيوم وال الحديد المغلون. السليكون المطاط لا يلتصق جيدا بالحديد ولكنه جيد مع الالمنيوم. الكونكريت وبعض مواد البناء يمكن استخدامها كمساند للزجاج.

الغطاء الزجاجي

يوضع الغطاء الزجاجي بعد الحوض وهو مهم جدا في المقطرات الشمسية وهو يجب ان تكون له القدرة على نقل كمية الضوء في الطيف المرئي مع انه يحتفظ بالحرارة المتولدة بواسطة الضوء والهاربة من الحوض. الزجاج يتحمل درجة حرارة تصل الى 95 درجة مئوية وله القدرة على اسناد وزنه عند هذه الدرجة الحرارية ولايحصل له تمدد كبير يؤدي الى تحطميه عندما يكون مغلق غلقا محكما بحيث لايسمح للهواء ان يتحرك داخله.

اذا كان الزجاج من نوع الفلم الرقيق يجب ان يكون مسند بواسطة الشد او ضغط الهواء الا انه ضعيف الاختيار. ان مادة اللوح الزجاجي يجب ان تكون قوية بكفاءة لمقاومة الرياح العالية والامطار و قطرات الامطار المتجمدة وحركات الارض الصغيرة وينعى دخول الحشرات والحيوانات.

عملية الترطيب تسمح للبخار ان يتکثف بداخل الغطاء الزجاجي على شكل لوح متكامل من الماء بدلا من قطرات. اذا كان الماء على شكل قطرات فانه يخفض اداء المجمع الشمسي لاسباب التالية:

- 1-ال قطرات سوف تقلل من كمية الماء الداخلة الى المقطر بسبب انها تقيد دخول الضوء الى داخله و تعمل كالمرة وتعكس الضوء الى الخارج.
- 2-اذا كان الماء المقطر على شكل قطرات فانه سوف يعود الى حوض المقطر اكثر من الذي يجري بداخل الغطاء الزجاجي لعرض تجميعه والاستفادة منه. هنالك عوامل تحدد مادة اللوح الزجاجي تتضمن تكاليف المادة والوزن وال عمر المتوقع لها ومدى توفرها محليا واقصى درجة حرارة تسمح بها ومقاومة الصدمة وقابليتها على نفاذ الطاقة الشمسية والاشعة تحت الحمراء. ان زجاج الشبابيك هو الافضل ماعدا ذلك الذي يحتوي على فلم زيتى ويمكن ان ينظف بمنظف *detergent* او الامونيا . سمك الزجاج المفضل هو 3.2 ملم .

البلاستيك ارخص من الزجاج او الزجاج الحراري الا انه يتحطم تحت تاثير درجات الحرارة المرتفعة والترطيب طفيف. تحت ظروف درجات الحرارة النموذجية للمقطرات الشمسية يتوقع حدوث تفاعل كيميائي بين الماء والبلاستيك وهذا يؤثر على

الصحة. استعمال قطع من الزجاج بعرض 90 سم توجد فيه مشكلتان هي ارتفاع الكلفة وزيادة مخاطر الكسر. هنالك احجام قياسية وهي 86 سم ومتوفرة بشكل واسع ومستعملة في المجمعات الشمسية.

حوض تجميع الماء المستطيل الشكل trough يقع عند قاعدة الزجاج المائل ، يستخدم لتجمیع الماء المتكثف ونقله الى الخزان وهذا يجب ان يكون صغيرا لكي لا يسبب ظل على الحوض ، وهو يجب ان يصنع من مواد صحية وهي يمكن ان تكون من نفس المواد المصنوع منها الحوض ، ويستخدم الحديد المقاوم للصدأ مثل نوع 316 وهو جيد.

هنالك معادن اخرى مغطاة او محمية لمنع التاكل ، مثلا الالمنيوم يتعرض لتاكل مع الماء المقطر ولكنه يعتبر الافضل عندما يطلی بالسليكون المطاطي. وكذلك الحديد المغلون لا يبقى سوى عدة سنوات على الاكثر. النحاس والبراس بسبب مخاطرهما على الصحة فانهما يستبعدان . الحديد المطلي بالخزف اختياره ضعيف لانه ينحل بصورة بطيئة ويسمح للحديد بالصدأ.

احيانا يصنع حوض تجميع الماء المقطر من مادة butyl rubber الا انه غالى الثمن. استعمال البولي اثيلين يجعله يتحطم ويبعث رائحة وطعم غير مرغوبين. استعمال ال PVC بتوين شق طويل منه الا انه يتحطم داخل المقطر ويبعث غاز غير مرغوب فيه وتكون هشة بسبب تعرضها لأشعة الشمس. ان استعمال butyl rubber هو جيد ولكن بسبب لونه الاسود يعمل على امتصاص الاشعة ويعيد تبخر الماء المقطر .

المكونات الثانوية *Ancillary Components*

وتشمل العازل والخشوات والانابيب والصمامات والمثبتات والمضخات وخزان المياه.

1- العازل

يستخدم لاعاقة جريان الحرارة من المقطر ويحسن من اداءه ويوضع تحت الحوض. اذا كان عمق الماء في حوض المقطر 2 انج او اقل فان اداءه يزداد بنسبة 14 % وتقل هذه النسبة مع زيادة عمق الماء فيه ، وهذه الزيادة حصلت نتيجة

استعمال العازل ، وكمية العازل اقل في الموضع الغني بالأشعاع الشمسي. اختيار العازل الرخيص لبناء المقطر الشمسي على ارض جافة وذات بزل جيد. استخدام الرمل يساعد على تقليل الطاقة الحرارية الشمسية المفقودة ويعيد الحرارة الى الحوض بعد غروب الشمس ويطيل عملية التقطير. العازل يضيف تقريبا 16 % من تكاليف البناء. اما عند استخدام *polyurethane* بتماس مع التربة سوف يمتص رطوبة ويفقد كثيرا من قيمة العازل.

2-الخشوات *sealants*

بالرغم من انها ليست من المكونات الاساسية الا انها مهمة في تشغيله بكفاءة ، وتستخدم لسد الفتحات الموجودة في جهاز التقطير. تتميز الخشوات المستعملة في المقطرات الشمسية عن تلك المستخدمة في عملية تسخين المياه. الخشوة غير السليمة يمكن ان تسبب دخول قطرات ماء المطر التي تحمل الكائنات الحية *micro-organisms* الى جهاز التقطير وتلوث الماء كما انه ينقل الطعم والرائحة الى الماء المقطر وتجعله غير سائغ للشرب.

انواع الخشوات المستعملة

- 1- معجون تثبيت الزجاج (سد الشقوق بين الالواح) وزيت بذور الكتان.
- 2- مركب الاسفلت.
- 3- البلاستيك المغطى بالقطران.
- 4- المعجون الاسود.

هناك انواع مختلفة من الخشوات لسد الشقوق بين الالواح هي *Acrylic Ltex* و *Synthetic Rubber* و *Polyethylene Butyl Rubber* و *Latex Urethane Foam* و *Silicon Polyurethane* و *EPDM Molded silicon* او مواد ماسكة وهي جيدة اما مدة تأكلها طويلة. ان *silicon* او *EPDM* مواد ماسكة وهي جيدة اما السليكون المطاط من الخشوات الجيدة المستخدمة كثيرا الا انه يتعرض للكسر ويفشل في عملية الغلق بعد 5 - 15 سنة من ت تعرضه الى اشعة الشمس. ان تغطيته

الخشوة بشريط معدني يطيل من عمرها اما معجون الشبابيك لا يضمن استعماله في المقطرات الشمسية بسبب الرطوبة والحرارة المرتفعة في الانابيب.

Piping الانابيب

تستخدم الانابيب لنقل الماء من والى المقطر الشمسي مثل الانابيب المصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ والبولي اثيلين وهي مفضلة لنقل الماء. البولي اثيلين الاسود يمكن ان يبقى على الاقل 15 سنة كما هو في انبيب البزل. اما الانبوب من النايلون *nylon tubing* ينكسر اذا تعرض الى اشعة الشمس لمدة 5-15 سنة. الـ *PVC* بالرغم من انه في الاسابيع الاولى من استخدامه جيد الا انه بعد ذلك يبعث غاز ويعطي طعم رديء بينما الـ *ordinary clear vinyl tubing* فهو غير مرغوب فيه بسبب تحطمته عند التعرض الى اشعة الشمس. البلاستيك المملوء بالماء عندما يتعرض الى اشعة الشمس فان جزء منه يتحطم ويعطي طعم رديء للماء. البراس والحديد المغلون والنحاس يستخدم في نظام التغذية الا انه لا يستخدم في نظام الماء الناتج (المقطر).

تم تغذية المقطر الشمسي بالماء على شكل دفعات لمدة ساعة او اثنين كل يوم وهذا مهم ليسمح بدخول بعض الماء الاضافي كل يوم لكي يخرج الماء الملحي. كما ان الضغط المستخدم والبزل للماء قليل جدا لذلك فانه يكون بطيء وان معدل التغذية يجب ان لا يكون اكثر من معدل البزل لكي لا يحصل فيضان ، ويستخدم صمام الابرة لمنع الجريان عند وصوله الحد المطلوب ويجب ان يزود المقطر بفلتر للماء.

الخزان Storage Reservoir

عند تحديد نوع المعدن الذي يصنع منه الخزان يجب اخذ الحيوطة وملاحظة الاتي:

- الماء المقطر مهاجم كيميائي ويقوم بحل أي شيء ولكنه بطيء. لذلك فالحديد المقاوم للصدأ من نوع 316 هو الافضل. وكذلك *Polypropylene*
- يعتبر جيد ولكنه يجب ان لا يتعرض الى اشعة الشمس ، وكذلك *Butyl*
- يستخدم لصناعة هيكل الخزان اما في حالة استخدام الحديد *Rubber*

المغلون فانه يستعمل لسنوات قليلة وبعدها يقوم باضافة الزنك والحديد للماء.
عند استخدام الكونكريت فانه يتعرض للتقويت بعد سنوات.

في الحقيقة هنالك طريقة واحدة تستعمل لمنع المهاجمة الكيميائية وهي ادخال بعض حجر الكلس او قطع المرمر الى المقطر الشمسي او في الخزان نفسه لحمل بعض كابونات الكالسيوم وهذا يعمل على ابطاء مهاجمة الخزان.

2- لمنع دخول الحشرات والبكتيريا المحمولة جوا فان الهواء يجب ان يترك الخزان كل مرة يدخل فيه ماء ، ويجب اعادة ادخال الماء كل مرة كان الهواء فيها قد سحب الى داخل الخزان ، لذلك فان فتحة التهوية يجب ان يوضع عليها مشبك ناعم جدا مثل قياس $50 * 50$ سلك لكل انج وفتح الفتحة دائمًا باتجاه الاسفل لمنع دخول ماء المطر ، واذا اهملت هذه العملية فان الحشرات ستدخل الى الخزان ويكون سائل جرثومي.

المقطر الشمسي المتعدد المراحل *Multistage Solar Still*

اجهزة التقطر البسيطة التي تكون على شكل بيت زجاجي يبلغ انتاجها اليومي حوالي $4 \text{ لتر}/\text{م}^2$ ، وهذا يعتبر انتاج قليل . ان استخدام المقطر الشمسي الطبيعي المتعدد المراحل *Passive Multistage Solar Still* وهو تصميم بسيط ويحتاج الى تكاليف قليلة ، تستخدم فيه صفيحة من الحديد المقاوم للصدأ مائلة بزاوية 30 درجة مغطاة بقماش قطني لغرض تحسين توزيع الماء على السطح.

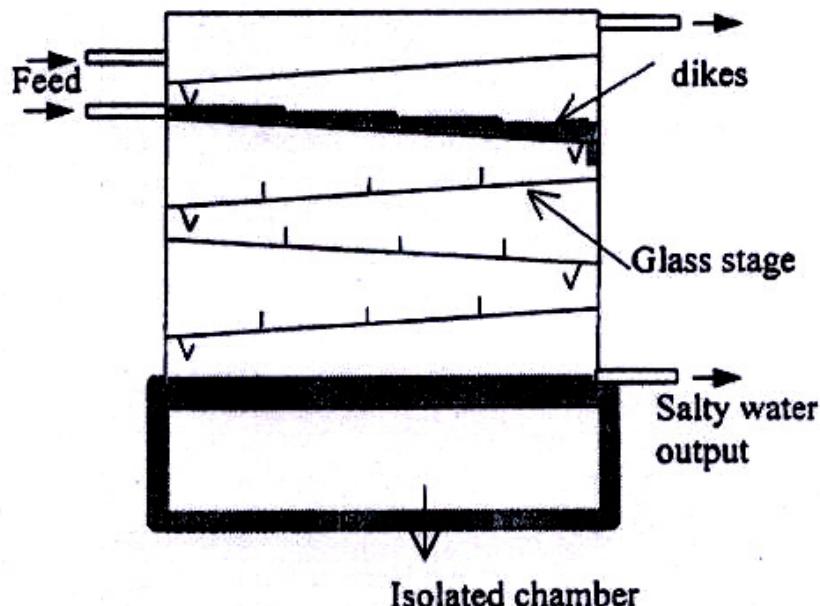
يدخل الماء الى الجهاز من الاعلى فيتحرك على سطح الصفيحة ويسقط بفعل الجاذبية من الصفيحة العليا الى الصفيحة التي اسفلها الى ان يصل الى الموقع السفلي من الجهاز. الماء يسخن في الطبق وينتج بخار وينكشف على اسفل الصفيحة التي هي فوق الصفيحة التي تبخر الماء منها التي تبرد بوساطة الماء النازل عليها من الاعلى وهذه العملية تتكرر لكل المراحل في المقطر الشمسي.

قام *Franco et al.* بتطوير المقطر الشمسي المتعدد المراحل من خلال استبدال الصفائح الحديدية بالزجاج ووضع قنوات زجاجية صغيرة في ذلك الموقع بزاوية 4

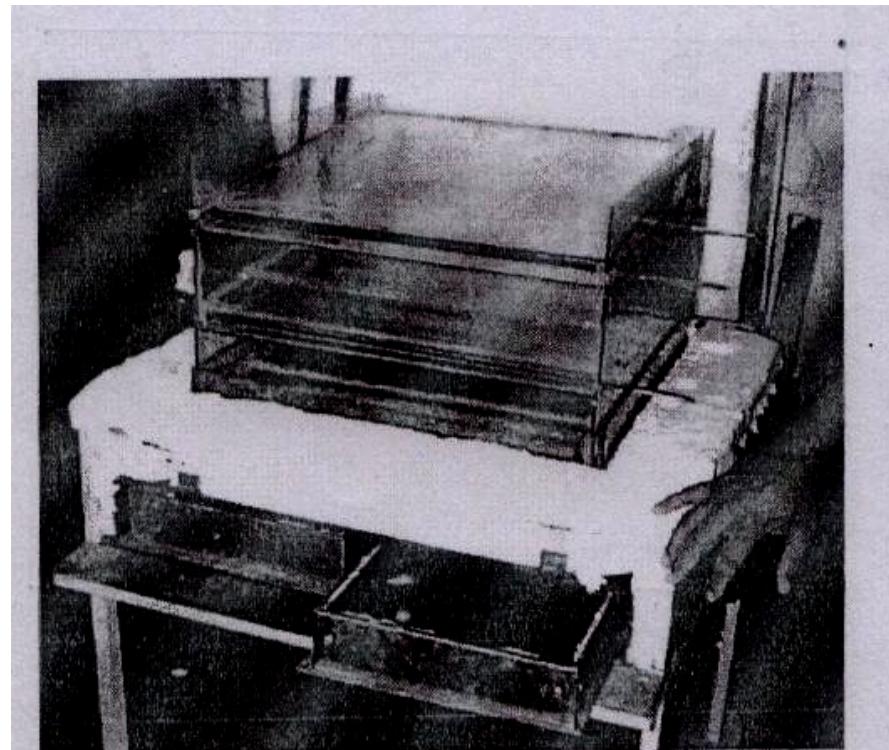
درجة حيث يتكون فلم مائي على سطح التكثيف بعد تنظيف الزجاج بالامونيا وكان ارتفاع كل قناة 1 سم ويعمق 0.5 سم.

يتكون هيكل المقطر الشمسي المتعدد المراحل المطور من صندوق ابعاده 50 * 50 سم ، مصنوع من الزجاج ومعزول من الخارج بمادة رغوة البولي ستايرين واستعملت صفيحة من الحديد المقاوم للصدأ في اسفل الجهاز وتكون درجة حرارتها أعلى. في البداية تسخن الصفيحة المعدنية الموجودة في الاسفل وهنالك يحتوي المقطر الشمسي على خمسة مراحل وكما هو مبين في شكل (8-9) و (10-8). الماء المالح يدخل إلى المقطر الشمسي من الأعلى ويسقط من مرحلة إلى مرحلة أخرى باتجاه الأسفل عن طريق الجاذبية حتى يصل إلى الطبق الأخير. الطبق الأخير السفلي يسخن من الأسفل مع اربعة قطع مسطحة من الألمنيوم موضوعة في غرفة معزولة ابعد كل واحدة منها 27.5 cm^3 .

انتاجية هذا الجهاز عالية اذا كانت درجة حرارة الطبق الاخير اعلى من الاطياب الزجاجية العليا التي تمثل المراحل. درجة الحرارة النموذجية هي 90 درجة مئوية.



شكل (8-9) : المقطر الشمسي المتعدد المراحل



شكل (8-9) : صورة فوتوغرافية للمقطر الشمسي المتعدد المراحل
(Franco et al.,2000)

اداء المقطر الشمسي

درجة الحرارة

يوضح الشكل (10-8) التغيرات في درجة حرارة الاطباق اذ ان المقطر الشمسي يصل الى درجة حرارة التشغيل بعد مرور ساعة واحدة ، ويوضح الشكل (11-8) انتاج الماء المقطر عند درجات حرارية مختلفة مقاسة في الطبق الاخير ، ان اختلاف انواع النقاط في الشكل يشير الى عمل المقطر الشمسي خلال يومين عند معدل جريان متغير للماء الملحي.

نسبة الاداء *Performance Ratio*

هي العلاقة بين الحرارة المطلوبة لت bxr الماء المقطر والطاقة المستهلكة لذلك والمحسوبة من النتائج التجريبية وتنكتب كالتالي:

يلاحظ من الشكل (12-8) ان نسبة الاداء للمقطر الشمسي المتعدد المراحل الذي يحتوي على اربعه اطباق وجد انها تزداد مع زيادة درجة الحرارة للاطباق.

$$r_p = \frac{Q_{distillation}}{Q_{slab}} \dots \dots \dots (8-1)$$

r_p : نسبة الاداء

$$Q_{distillation} = m_d \lambda \dots \dots \dots (8-2)$$

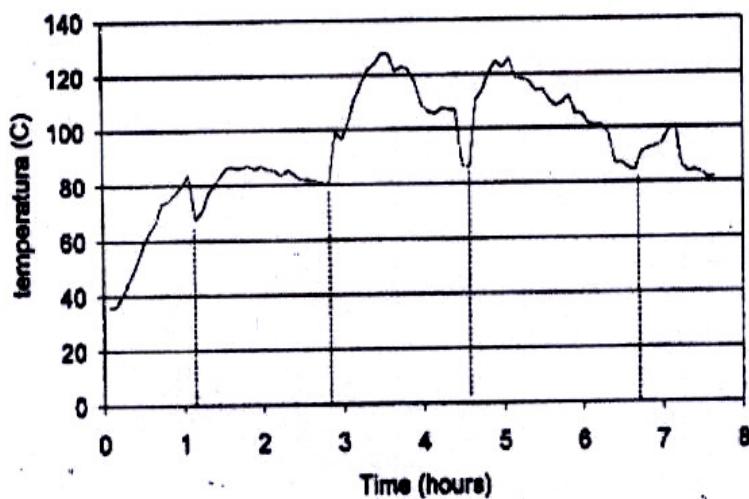
m_d : كتلة الماء المقطر.

λ : الحرارة الكامنة لتبخر الماء وتساوي 2.4 (ميكافول/كغم)

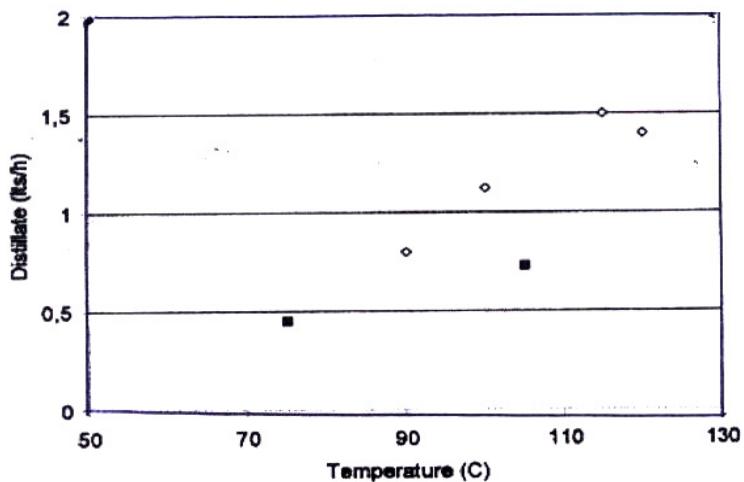
$$Q_{slab} = m C_{ps} (T_{final} - T_{initial}) \dots \dots \dots (8-3)$$

m : الكتلة (كغم)

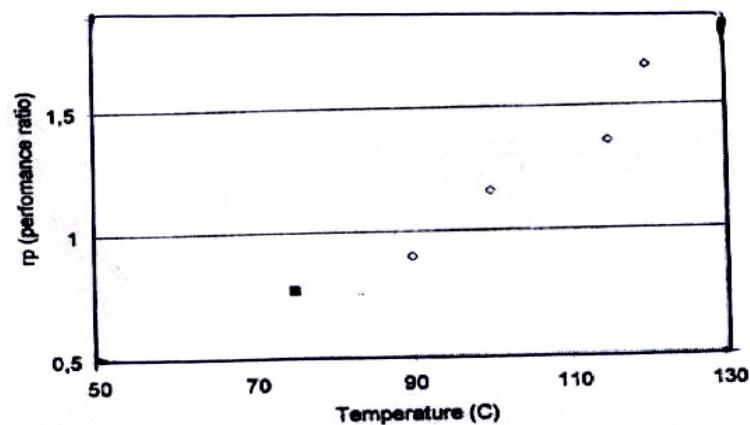
C_{ps} : الحرارة النوعية للماء (كج/كغم.كلفن)



شكل (8-10) : تغير درجة حرارة اطباق المقطر
الشمسي المتعدد المراحل (Franco et al., 2000).

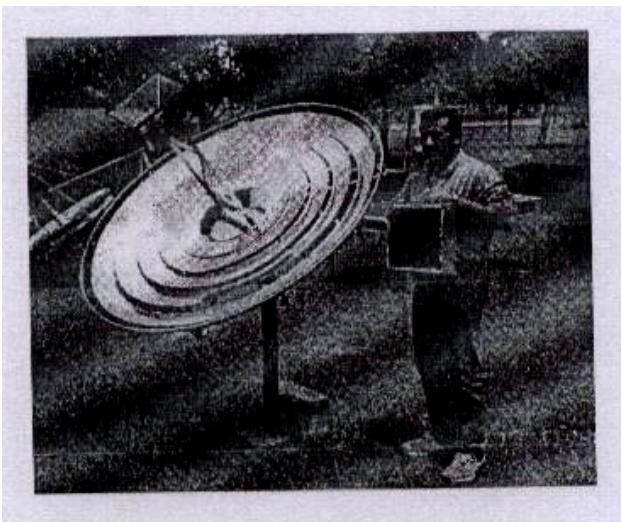


شكل (8-11) : إنتاجية المقطر الشمسي المتعدد المراحل.
(Franco *et al.*,2000).



شكل (8-12) : نسبة الأداء للمقطر الشمسي المتعدد المراحل.

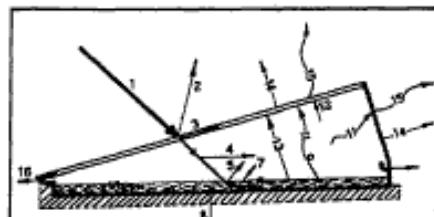
هناك نوع اخر من المقطرات الشمسية هو المقطر الشمسي المركزاو ما يسمى بمركز نوع فرنسل *Fresnel Type Concentrator* شكل (8-11) حيث يكون المجمع مفصول عن المقطر والحرارة تنتقل من وحدة الى اخرى باستخدام 4 كغم من قطعة مسطحة من الالمنيوم التي تكون موضوعة في الجزء الممتص وتسخن بحيث تصل درجة حرارتها الى 350 درجة مئوية ، هذه القطعة توضع في صندوق معزول تحت الطبق واستخدمت اربع قطع وهي متغيرة دورييا. يمكن ان تستخدم عدة قطع لخزن الحرارة اذا كان هناك مجمع شمسي كبير فانه يسمح له بالعمل لعدة ساعات اثناء الليل ويحسن من انتاجيته. هذا النوع مصنوع من صندوق بشكل مخروطي صغير موضوع بصورة مركزية فوق السطح ويحتوي على صفيحة المنيومية عاكسة. الطبق العاكس يوضح بحيث يأخذ بنظر الاعتبار خطوط العرض للمنطقة التي يعمل بها إذ أنها تحدد زاوية ميله حتى يكون مواجهها للشمس خلال اليوم. من فوائد هذا المقطر هي ان المخاريط بنيت بشكل بسيط جدا من صفيحة مستوية مقارنة مع التصاميم الأخرى. وهو يحتوي على مرآة مستوية ووضع فراغ بين كل مخروط وآخر لمقاومة الرياح الشديدة.



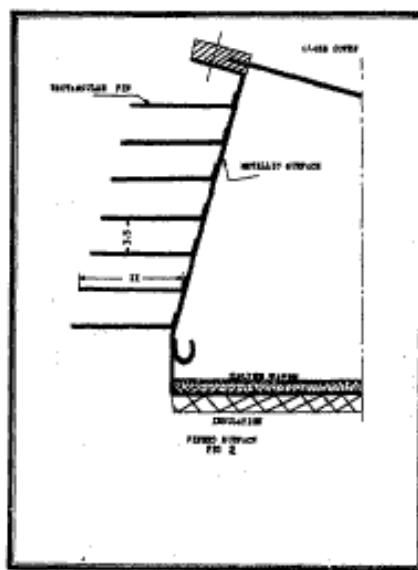
شكل (8-13) : مقطر شمسي نوع فرنسل.

هناك تصميم اخر يؤدي الى زيادة انتاجية الماء المقطر وذلك بزيادة مساحة سطح التكثيف نتيجة زيادة مساحة سطح التبريد . شكل (14-8) اضافة الى الزجاج الذي ينفذ منه الاشعاع الشمسي ، استخدم الجانب المواجه للشمال من المقطر الشمسي حيث صنع من معدن سمكه 0.8 ملم وبشكل مائل بزاوية 75 درجة الى الداخل بحيث يمنع من سقوط الاشعاع الشمسي عليه واضيفت الى هذا الجزء زعانف عددها سبعة ويسمك 1.75 ملم وعرض 11 سم وطول 100 سم ،لغرض زيادة معدل التبريد وهذا يؤدي الى زيادة انتاجية الماء المقطر . طليت هذه الزعانف بطلاء اسود اللون لزيادة ابعاديتها .

هذا المقطر هو من نوع البيت الزجاجي وقد صنع من صفيحة حديدية سمكتها 0.8 ملم ومساحة التبخير الصافية من المبشر هي 0.93 م^2 . ارضية الحوض ذات لون اسود بينما الجوانب طليت باللون الابيض . وهنا اصبح سطح التكثيف يشمل الزجاج والمعدن ، الزجاج مائل بزاوية 15 درجة مع الافق والزاوية العليا من الغطاء كانت 90 درجة. وضعت قنوات تجميع الماء المقطر في اللوح المعدني والزجاجي زمنتها ينقل الماء الى فتحة الخروج. تم عزل الحوض من الاسفل والجوانب لتجنب فقدان الحراري.



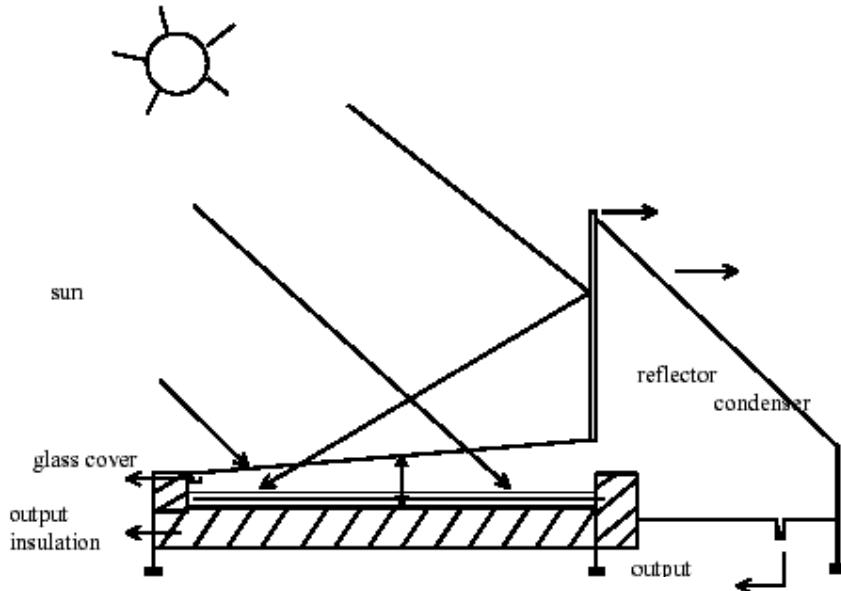
- 1- الاشعاع الشمسي 2- اشعاع شمسي منعكس 3- اشعاع شمسي ممتص من قبل الزجاج 4- اشعاع ممتص بواسطة بخار الماء المقطر 5- اشعاع منعكس من سطح الماء 6- اشعاع ممتص بواسطة الماء المقطر 7- اشعاع منعكس من اسفل المقطر 8- انتقال الحرارة من اسفل المقطر الى الجو 9- طاقة ممتصة بواسطة الحوض 10- انتقال الحرارة بالحمل الى الماء الملحي 11- حركة الهواء المحمل بالبخار الى سطح الزجاج والسطح المعدني 12- الحرارة الكامنة 13- الاشعاع الحراري على السطح الداخلي 14- الاشعاع الحراري على السطح الخارجي 15- حركة الهواء من السطح الخارجي للزجاج والمعدن الى الهواء 16- الحرارة المحسوسة للتكتيف



شكل (8-14): مقطر شمسي مزود بزعانف.

هذاك نوع من المقطرات الشمسية كما هو موضح في شكل (8-15) يزود بمكثف خارجي اضافة الى سطحه الخارجي الذي ميله يكون قليل . هذا المقطر مساحة قاعدة حوضه 1 m^2 صنعت من صفيحة من الحديد المغلون سمكها 0.35 ملم سوداء اللون واستعمل غطاء زجاجي شفاف سمكه 3 ملم. وتم عزل جوانبه بمادة polyurethane foam بسمك 50 ملم وغلفت بصناديق خشبي . اضيف الى

المقطر عاكس مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ لزيادة تأثير الإشعاع الشمسي على السطح الزجاجي وكذلك لحدوث ظل على المكثف.



شكل (8-15): مقطر شمسي مزود بمكثف.

(El-Bahi & Inan,2000)

التحليل النظري

في هذا التحليل الخاص لمعرفة حاصل الماء المقطر لكل ساعة من المنظومة تم اشتقاقه وافتراض ان الخواص الفيزيائية للماء وبخاره لا تتغير مع درجة الحرارة وكذلك ان النظام في الحالة الشبه مستقرة . ولا يوجد هنالك ماء او بخار ماء متسرب . والسعنة الحرارية للزجاج والعازل قد اهملت . ولا يوجد هنالك تدرج بدرجة الحرارة خلال سمك كتلة الماء او الغطاء الزجاجي . ومعامل انتقال الحرارة ثابت خلال تغير الزمن . ان معادلة موازنة الطاقة لمكونات وحدة التقطر يمكن ان تكتب كالتالي :

للغطاء الزجاجي

$$h_1 = (T_w - T_g) = h_2 (T_g - T_a) \dots \dots \dots (8-4)$$

h_1 : معامل انتقال الحرارة بالحمل والتبخّر والاشعاع من سطح الماء الى الزجاج

(واط/م² °م).

T_w : درجة حرارة الماء (°م).

T_g : درجة حرارة الزجاج (°م).

h_2 : معامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من الغطاء الزجاجي إلى الجو
 $(\text{واط}/\text{م}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$.

T_a : درجة حرارة الهواء (${}^\circ\text{C}$).

للمكثف

$$h'_1 = (T_w - T_{co}) = h'_2 (T_{co} - T_a) \dots \quad (8-5)$$

h'_1 : معامل انتقال الحرارة بالت BX والحمل من سطح الماء إلى المكثف ($\text{واط}/\text{م}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$).

T_{co} : درجة حرارة المكثف (${}^\circ\text{C}$).

h'_2 : معامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من سطح المكثف إلى الجو
 $(\text{واط}/\text{م}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$.

لكتلة الماء

$$\tau_g \alpha_w I_T + h_3 (T_b - T_w) = M_w \frac{dT_w}{dt} + h_1 (T_w - T_g) + h'_1 (T_w - T_{co}) \dots \quad (8-6)$$

τ_g : انبعاثية الزجاج.

α_w : امتصاصية الماء.

I_T : شدة الإشعاع الشمسي ($\text{واط}/\text{م}^2$).

h_3 : معامل انتقال الحرارة من صفيحة القاعدة إلى الماء ($\text{واط}/\text{م}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$).

T_b : درجة حرارة محلول الملحي (${}^\circ\text{C}$).

M_w : السعة الحرارية للماء (جول/كلفن).

للحوض

$$\tau_g \tau_w I_T = h_3 (T_b - T_w) + h_4 (T_b - T_a) \dots \quad (8-7)$$

τ_w : انبعاثية الماء.

من المعادلات من (8-4) - (8-7) يمكن ان نجد المعادلة (8-8)

$$\frac{dT_w}{dt} + C_1 = \tau_g \alpha_w I_T + (\tau_g \tau_w h_3 I_T) / (h_3 + h_4) + C_1 T_a \dots \quad (8-8)$$

h_4 : معامل انتقال الحرارة من صفيحة القاعدة إلى الجو ($\text{واط}/\text{م}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$).

المعادلة (8-8) يمكن حلها لتعطي المعادلة (8-9)

حول

$$C_1 = \left(\frac{h_1 h_2}{h_1 + h_2} + \frac{h'_1 h'_2}{h'_1 + h'_2} + \frac{h_3 h_4}{h_3 + h_4} \right) / M_w \dots \quad (8-10)$$

و

$$f_1 = \left| \tau_g \alpha_w I_T + (\tau_g \tau_w h_3 I_T) / (h_3 + h_4) + C_1 T_a \right| / M_w \dots \quad (8-11)$$

يمكن حل المعادلة (9-8) لایجاد درجة حرارة الماء :

T_{wo} هي درجة حرارة الماء الاولية عند الزمن صفر

كمية ماء التقطير خلال ساعة W_d يمكن ان يعطى بالمعادلة الآتية:

٢: الحرارة الكامنة لتبخر الماء

عند تكامل المعادلة (13-8) فانها تعطي المنتج الكلي من الماء المقطر خلال اليوم.

يوضح الشكل (16-8) ان كمية الماء المقطر تزداد مع زيادة الزمن وتصل الى اقصى قيمة لها عند الساعة 14 والتكتيف يستمر حتى عند غروب الشمس نتيجة السعة الحرارية للمحلول الملحي . درجة حرارة الغطاء الزجاجي كانت منخفضة في بداية العمل بحيث تسمح لاقبر كمية من البحار بالتكثيف على سطحه الداخلي ، بينما بعد منتصف النهار يستمر التكتيف تقريبا بالكمية نفسها حتى بعد الغروب. بلغ حاصل الماء المتجمد خلال ساعة في الغطاء الزجاجي والمكثف معا 6.52 لتر ام² يوم في الصيف.

درجة حرارة حوض الماء والغطاء الزجاجي والمكثف والجو خلال الزمن مبينة في شكل (17-8). فيلاحظ ان هنالك اختلاف قليل بين درجة حرارة الماء الملحي والغطاء الزجاجي.

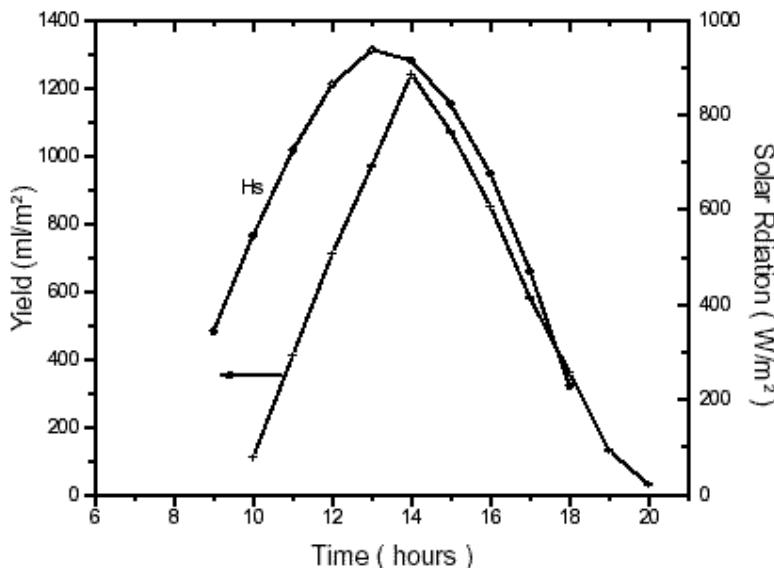
الكافاء تعتمد على شدة الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الجو وعمق العازل وسرعة الرياح . الكفاءة تزداد مع زيادة درجة حرارة الجو بمدى من 65% الى اكتر

من 75% شكل (8-18). ويلاحظ أيضاً أن نفس قيمة الكفاءة لنفس درجة الحرارة في الجو.

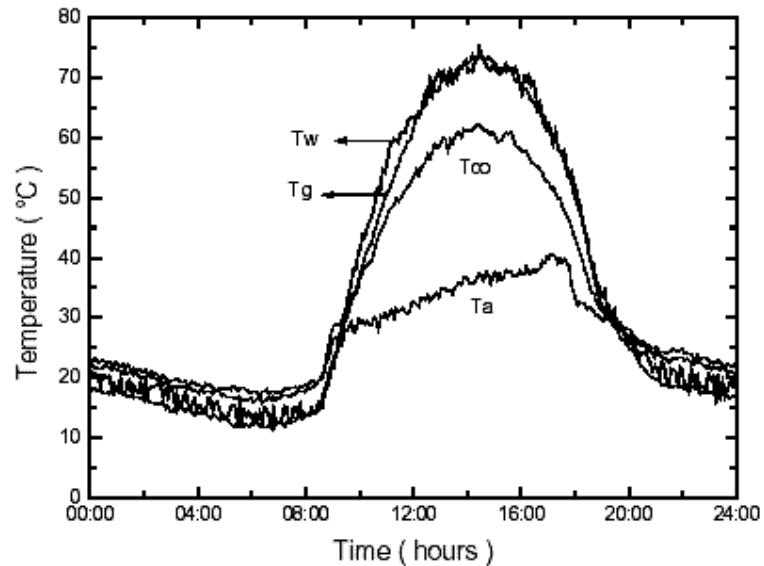
تحسب الكفاءة من المعادلة الآتية:

$$\eta(\%) = \frac{Q_e}{I_{T_a}} \dots \dots \dots (8-14)$$

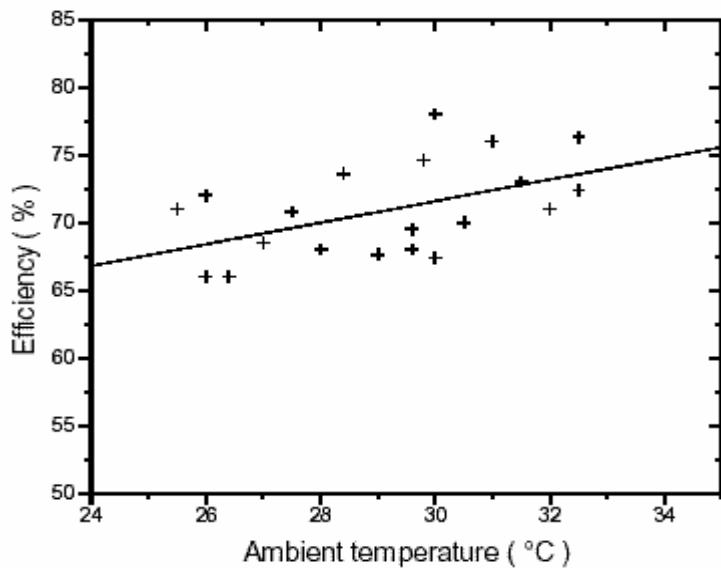
Q_e هي الطاقة المطلوبة لتبخر الحاصل اليومي النوعي (ميكافول $\text{m}^2/\text{يوم}$) و I_{T_a} هي شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على سطح زجاج المقطر (ميكافول $\text{m}^2/\text{يوم}$)



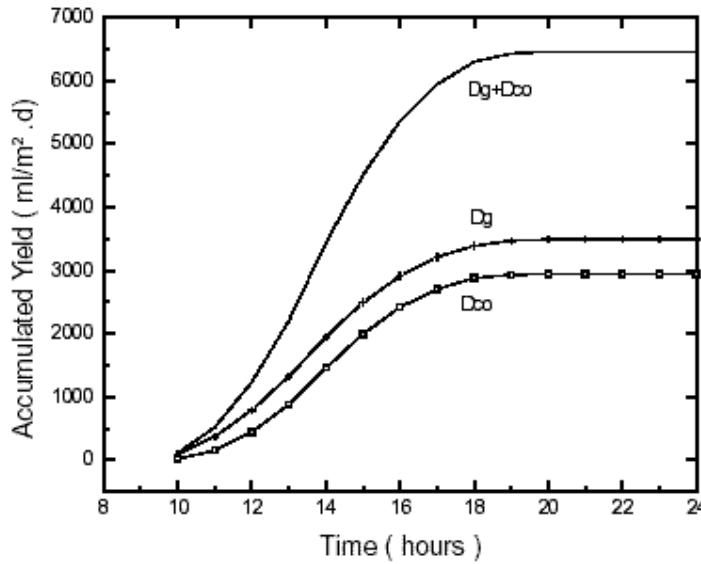
شكل (8-16) : طاقة الإشعاع الشمسي وانتاجية المقطر الشمسي خلال ساعات النهار



شكل (8-17) : درجة الحرارة في اجزاء المقطر
الشمسي خلال ساعات النهار.



شكل (8-18) : تأثير درجة حرارة الجو على كفاءة
المقطر الشمسي. (El-Bahi & Inan,2000)



شكل (8-19) : حاصل الماء المقطر المتجمع خلال ساعات النهار.

Air Plowin

المقطر ||

Multiple-Effect Solar Still

يتكون هذا المقطر شكل (8-20) بصورة اساسية من فتيلة مائلة في صندوق على شكل مستطيل ضحل . الصندوق مقسم الى غرفتين بواسطة صفيحة معدنية مركزية . الفتحة بين الغرفتين عند اعلى المقطر المائل تسمح بمرور الهواء من اعلى الى اسفل الغرفة . الغرفة العليا تمثل المبخر بينما الدنيا تمثل المكثف. وطريقة عمله هي ان الهواء الجوي يتحرك الهواء من الغرفة العليا المزودة بفتحات الى الغرفة السفلی بواسطة منفاخ حيث يكتسح معه الماء المتاخر من الفتيلة المائلة .

النسبة الكبرى من بخار الماء تتكثف اما على الجانب السفلی من الصفيحة المعدنية التي تفصل الغرفتين او على الانبوب المترعرع الموجود في جهة الجانب الخلفي من الصفيحة المعدنية الذي ينقل الماء الى الغرفة العليا. ووظيفته ترطيب الفتيلة المائلة .

الماء المقطر يجمع بواسطة البزل من الغرفة السفلی الى خزان التجميع . تيار البخار المشبع يخرج من الغرفة السفلی ويدخل الى المكثف الخارجي ليسترجع بخار الماء السابق ويخرج الهواء الى الجو عن طريق المنفاخ.

انتقال الكتلة والطاقة

تم استخدام صيغة $RLIC$ والتي تعتمد على استخدام المعادلات التفاضلية غير الخطية لتمثيل المقطر الشمسي وهذه الصيغة هي من اسهل الصيغ المستخدمة. واستخدمت طريقة $Rung-Kutta$ لحل المعادلات التفاضلية بصيغة مبسطة لتمثيل اداء المقطر الشمسي واستخدمت هذه المعادلات كالتالي:

1- موازنة الطاقة الحرارية في الغرفة العلوية

عمليات انتقال الحرارة تساهم بموازنة المحتوى الحراري لجريان خليط الهواء والبخار. في الاتجاه الاعلى في الجزء العلوي من الغرفة يتم امتصاص طاقة الاشعاع الشمسي . الطاقة الحرارية المستلمة يعاد تدويرها من الغرفة السفلی عن طريق الصفيحة المعدنية المركزية الطاقة الحرارية المنقوله الى الماء في الانبوب المترعرع تحت الفتيلة المائلة . الطاقة الحرارية تفقد الى الهواء عن طريق اللوح الزجاجي للمقطر ، كذلك الطاقة الحرارية تفقد عن طريق محيط هيكل الغرفة الى الجو قالى الغرفة السفلی.

المعادلات التفاضلية تصف عمليات انتقال الحرارة الجارية في الغرفة العلوية والعامل الاخير وهو المساحة المحيطية وقد اهملت لانها صغيرة نسبياً ومعزولة.

$$V_a \frac{dQ_u}{dA} = G_{abs} + q_R + c_w \left(m_w \frac{dT_p}{dA} + T_p \frac{dm_w}{dA} \right) - U_{P_{amb}} (T_p - T_{amb}) \dots \quad (8-15)$$

V_a : معدل الجريان الحجمي للهواء الجاف ($\text{م}^3/\text{s}$) .

Q_u : انثالبي تيار الهواء القياسي للغرفة العلوية ($\text{جول}/\text{م}^3$) .

G_{abs} : طاقة الإشعاع الشمسي الممتصة بوساطة المقطر ($\text{واط}/\text{م}^2$) .

q_R : الطاقة الحرارية المعادة من الغرفة السفلی الى الفجوة العليا ($\text{واط}/\text{م}^2$) .

c_w : السعة الحرارية للماء ($\text{جول}/\text{كغم. Kelvin}$) .

m_w : معدل الجريان الكتلي للماء ($\text{كغم}/\text{s}$) .

$U_{P_{amb}}$: معامل انتقال الحرارة الكلی من الصفيحة الى الهواء ($\text{واط}/\text{م}^2 \cdot \text{ Kelvin}$) .

T_p : درجة حرارة الصفيحة ($^\circ\text{M}$) .

T_{amb} : درجة حرارة الجو ($^\circ\text{M}$) .

معدل جريان الماء عند أي مقطع يعطى بالمعادلة الآتية:

Q تمثل المحتوى الحراري لتيار الهواء المشبع في الغرفة العلوية.

H_v : الرطوبة المترادفة للهواء (كغم ماء / م³ هواء جاف).

2- موازنة الطاقة الحرارية في الغرفة السفلية

تيار الهواء الخارج من الغرفة العلوية عند فتحة اتصال الغرفتين وفي العكس ، اتجاه الجريان يكون الى الداخل وفي اعلى الغرفة السفلی ويجري بالاتجاه العلوي ويخرج من اسفل الغرفة السفلی ، في هذه الغرفة تيار الهواء المشبع يتكون والخلط يشمل الهواء المشبع والمكثف وهو مميز بواسطة تناقصه الطرد في درجة الحرارة والانثالبي .

معدل التغير في المحتوى الحراري للخلط في مساحة الغرفة السفلی dQ_1/dA وهو موجب بالإضافة إلى ذلك فان مساحة الغرفة السفلی اعتبرت بانها تزداد في الاتجاه المقابل من اتجاه الجريان للخلط . في هذه الغرفة فان عمليات انتقال الحرارة الاتية تشتراك في موازنة المحتوى الرطبوی وخلط الهواء والبخار الجاري في الغرفة السفلی. الطاقة الحرارية المنقوله الى الصفيحة المعدنية المركزية بواسطة التكييف من تيار الهواء والطاقة الحرارية المنقوله الى الانبوب المتعرج لتخن الماء الموجود بداخله مسبقاً . والطاقة الحرارية المفقودة بواسطة التوصيل خلال الجدار الاسفل والجانب (كلاهما معزولان) من المقطر الشمسي . والمحتوى الحراري للتكييف . والطاقة الحرارية المفقودة عن طريق محیط هيكل الغرفة السفلی .

المعادلات التفاضلية تصف عملية انتقال الحرارة التي تحدث في الغرفة السفلی. وهذا العامل الآخر قد اهمل.

$$V_a \frac{dQ_u}{dA} = q_R + q_{Rp} + U_{P_{amb}} (T_1 - T_{amb}) + \frac{dq_c}{dA}(8-17)$$

q_{Rp} : الطاقة الحرارية المعادة من الغرفة السفلی إلى الصفيحة المعدنية المركزية . $(\text{واط}/\text{م}^2)$

T_1 : درجة حرارة الغرفة السفلي ($^{\circ}\text{م}$).

q_c : الطاقة الحرارية المتحركة بالتكيف في الغرفة السفلية (واط/م²).

الطاقة الحرارية التفاضلية من التكثيف الحراري تحررت في الغرفة السفلية، dq/dA هي:

$$\frac{dq_c}{dA} = c_w m_c \frac{dT_1}{dA} + c_w T_1 \frac{dm_c}{dA} \quad (8-18)$$

m_c : معدل الجريان الكتلي للتكييف (كغم/ث).

معدل جريان التكثيف عند أي مقطع هو

$$m_c(i+l) = m_c(i) + V_a [H_v(i+l) - H_v(i)] \quad (8-19)$$

حل المعادلات التفاضلية

هناك ارتباط اسي لكل من الانثالبي ورطوبة خليط بخار الماء والهواء هو دالة لدرجة حرارته ويمكن معرفتها من الخصائص термодинамическая للخلط وتعطى من

المعادلتين الآتيتين:

$$Q = \alpha_Q e^{\beta T'} \quad (8-20)$$

$$H_v = \alpha_H e^{\beta T'} \quad (8-21)$$

α_Q تساوي 12807 جول/م³ و α_H تساوي 0.0048 كغم/م³ و β تساوي 0.0617 °م⁻¹.

تطبق هذه النتائج في المعادلتين اعلاه ودرجة الحرارة تكون بالمؤوي.

معدل تغير المحتوى الحراري للخلط والرطوبة بمساحة الغرفة هي:

$$\frac{dQ}{dA} = \alpha_Q e^{\beta T'} \frac{dT'}{dA} \quad (8-22)$$

$$\frac{dH_v}{dA} = \alpha_H e^{\beta T'} \frac{dT'}{dA} \quad (8-23)$$

عند تعويض المعادلتين (8-22) و (8-23) في المعادلة (8-15) نحصل على

$$\frac{dT_u'}{dA} = U_{P,amb} \frac{(C_3 - T_u)}{[V_a \alpha_Q e^{\beta T_u'} - c_w (m_w + T_u' V_a \alpha_H e^{\beta T_u'})]} \quad (8-24)$$

حيث C_3 تعرف كالتالي:

من موازنة تيار الماء في الغرفة العليا نحصل على النتيجة الآتية:

$$\frac{dm_w}{dA} = V_a \frac{dH_w}{dA} \quad (8-25)$$

: (24-8) المعادلة من ومن

ترمز للغرفة العليا.

وبحجم المعاذلتين اعلاه ينتج

$$\frac{dm_w}{dA} = V_a \alpha_H e^{\beta T_u'} \frac{dT_u'}{dA} \dots \dots \dots \quad (8-27)$$

وبجمع المعادلتين (8-24) و (8-26) نحصل على :

$$\frac{dm_w}{dA} = \frac{U_{P_{amb}}(C_3 - T'_u)(V_a \alpha_H e^{\beta T'_u})}{[V_a \alpha_O e^{\beta T'_u} - C_w(m_w + T'_u V_a \alpha_H e^{\beta T'_u})]} \dots \dots \dots (8-28)$$

تفاضل المعادلة (24-8) و (26-8) هي محلولة عدديا كدالة لمساحة المقطر لمدى من معدلات جريان الهواء وقيم إعادة تدوير الطاقة الحرارية باستخدام طريقة

Runge – Kutta

الفصل التاسع

إنتاج الملح بالطاقة الشمسية

استخراج الملح شمسيًا بالطريقة التقليدية

يتم تبخر الماء من محلول الملح بالطاقة الشمسية وبصورة طبيعية وهذا التبخر يعتمد على درجة حرارة ورطوبة وسرعة الهواء والأشعة الشمسية وكذلك درجة حرارة وكثافة الماء الملحوي وتركيز الملح فيه. شكل (9-1).

ان من بين الايونات الذائية في ماء البحر هو NaCl ويوجد بكمية غزيرة تصل الى 85.65 % من كتلة جميع الاملاح الذائية فيه. تتبلور الاملاح الذائية في ماء البحر اذ يحدث عند مستويات تركيز مختلفة وان تركيز الماء الملحوي يرتفع بتبخر محتواه من الماء. يحصل ترسيب تباعي للاملاح الذائية CaCO_3 CaSO_4 ويتبعها NaCl واملاح البوتاسيوم والمغنيسيوم. ان الهدف من معمل الملح الشمسي *solar salt work* هو استخلاص NaCl من خلال اجبار محلول الملح بالجريان خلال مجاميع من بر크 التبخر المتصلة مع بعضها ، وفي هذا الطريق فان تركيز محلول في كل بركة مسيطر عليه . اتمام هذا الطريق يسمح على الاقل للاملاح الذائية وغير المرغوبة بالترسيب قبل البركة الاخيرة التي يتم فيها بلورة NaCl واستخلاصه.

قياس التركيز المستخدم في انتاج الملح هو قياس (${}^{\circ}\text{Be}$) الذي يعتمد على الكثافة النوعية للمحلول الملحوي (S_d) المبينة في المعادلة (9-1) و تستخد لموائع التي تكون اثقل من الماء عند درجة حرارة 15.5 $^{\circ}\text{M}$.

$$S_d = \frac{145}{145 - Be} \dots \dots \dots (9-1)$$

الكثافة النوعية تشير الى النسبة بين كثافة محلول الى كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة.



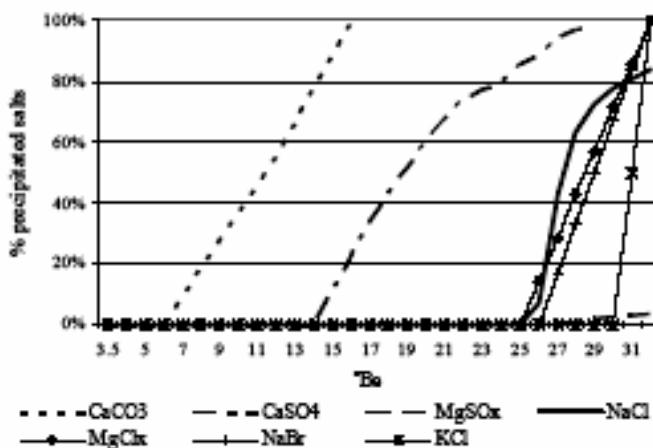
شكل (9-1): استخراج الملح شمسيًا بالطريقة التقليدية.

(Pereira *et al.*,2003)

هناك خمسة مراحل للتركيز وهي معروفة في إنتاج الملح:

- 1- عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 3.5 - 7 فانه لا يحصل ترسيب للأملاح المهمة ولكن ينخفض حجم محلول الاولى بمقدار 18%.
- 2- عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 12 - 7 يتربس 55% من كاربونات الكالسيوم بالإضافة الى جميع اكسيد الحديد وينخفض حجم محلول الملحى بمقدار 18%.
- 3- عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 12 - 20 فان جميع كاربونات الكالسيوم يتربس عندما ${}^{15}\text{Be}$ وعموماً فان 60% من الترسيب الكلى في نهاية هذه المرحلة وينخفض بمقدار 14.6% من حجم محلول الملحى الاولى.
- 4- عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 20 - 25 ، يتربس 25% من سلفات الكالسيوم ويتبخر 4.3% من حجم محلول الاولى.
- 5- عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 25 - 28.5 يتربس 15% من سلفات الكالسيوم ويترسب 75% من كلوريد الصوديوم ويتبخر 5.4% من حجم محلول الملحى الاولى .

عندما (${}^9\text{Be}$) تتراوح بين 25 - 26 تبدأ املاح المغنيسيوم وبروميد الصوديوم بالترسيب بالرغم من ان كميات قليلة غير كافية لنوعية متوسطة من NaCl المتحصل عليها، كما موضح في شكل (9-2).

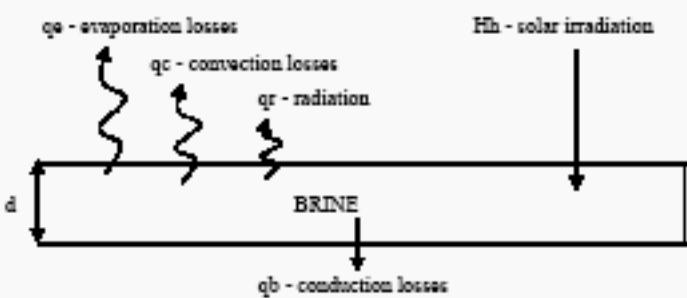


شكل (9-2) : ترسيب املاح المغنيسيوم وبروميد الصوديوم.
(Pereira et al.,2003)

ان تبخر الماء بالطريقة التقليدية الشمسية يتبع الى تلك المراحل الخمسة . الاحواض المتماثلة للمراحل الثلاث الاولى يطلق عليها بالمخرات ، والاحواض المتماثلة في المرحلة الرابعة يطلق عليها السخانات والاحواض المتماثلة لمرحلة التبخير الخامسة والاخيرة يطلق عليها المبلورات وعندها يتم الحصول على كلوريد الصوديوم.

الصيغة العددية للتبخير بالطريقة الشمسية التقليدية:

الشكل (9-3) يوضح موازنة الطاقة لطبقة من محلول الملح ، وهي مماثلة بالزمن ودرجة الحرارة معتمدة على معادلة معقدة . بعد الصيغة العددية تصبح معادلة تقاضلية محددة.



شكل (9-3) : موازنة الطاقة لطبقة من المحلول الملحي.

$$d\rho_{brine} C_{pbrine} \frac{(T_{brine} - T_{initialbrine})}{\Delta t} = F_s H_h - q_e - q_c - q_r - q_b \dots\dots\dots (9-2)$$

يفرض في هذه المعادلة تعتمد صيغة البعد الواحد ولافترض تغير في الاتجاه الافقى وان درجة الحرارة لا تتغير خلال سماك الطبقة للمحلول الملحي وكذلك اهمال فقدان بالتوصيل الى الهواء والموصلية الحرارية للهواء منخفضة .

امتصاص الاشعاع الشمسي في طبقة المحلول الملحي:

الرمز F_s يشير الى نسبة الطاقة الشمسية الممتصة بواسطة طبقة المحلول الملحي ، و H_h يشير الى الاشعاع في المستوى الافقى *global irradiation* . الاشعاع الشمسي يصل الى اسفل طبقة المحلول الملحي من الحوض ويكون منعكس باتجاه اعلى السطح وجزء منه يعاد انعكاسه الى اسفل الطبقة الداخلية من المحلول والباقي يغادر الحوض. ولغرض تبسيط المعادلة يفترض بان كل الاشعاع الشمسي يصل الى طبقة المحلول ولا ينعكس حيث ان الإشعاع المباشر او المنشر فانه سيمتص . جزء بسيط من الطاقة الشمسية يكون متاثر فقط بالانعكاسية من المحلول وقيمه 6 %.

الفقدان بالحمل:

هذا فقدان يعتمد بصورة مباشرة على الاختلاف بدرجة الحرارة بين الهواء والمحلول الملحي بالإضافة الى سرعة جريان الهواء.

q_c : الطاقة الحرارية المفقودة (واط / م²)

درجة حرارة محلول الملح (T_{brine}^0)

درجة حرارة الهواء (T_{air}) (°م)

h_c : معامل انتقال الحرارة بالحمل (واط / م² . °م).

يحسب معامل انتقال الحرارة بالحمل كالاتي:

سُرْعَةُ جَرِيَانِ الهَوَاءِ (V م/ثا)

الفقدان بسبب التبخّر:

تحسب مفقودات التبخر كالاتي:

P_s : ضغط التسرب عند درجة حرارة محلول الملح T_{brine} و درجة حرارة الهواء

: درجة حرارة الهواء ($^{\circ}\text{م}$). T_{air}

$\vdash \phi$

q_e : الفقدان بسبب التبخر (واط / م²)

الفقدان نتيجة الاشعاع :

ويحسب الفقدان نتيجة الاشعاع من المعادلة الآتية:

$$q_r = \varepsilon \sigma (T^4_{\text{brine}} - T^4_{\text{sky}}) \dots \dots \dots \quad (9-6)$$

q_r : الفدان نتیجة الاشعاع (واط / م²).

الفقدان بالتوسيل الى الترية

يُحسب الفقدان بالتوصيل إلى التالية:

K : الموصليّة الحراريّة (واط/م °م) و I السمك الكلّي.

كتلة الماء المتاخر

لحساب كتلة الماء المتاخر m ($\text{كغم}/\text{م}^2$) تستخدم المعادلة الآتية:

C_l : الطاقة الكامنة لتبخر الماء عند معدل درجة حرارة محلول الملحي خلال زمن محدد.

m : كتلة الماء المتاخر (كغم/م²).

C_{evap}: معامل التبخير ويعتمد على تركيز الملح في محلول وقيمة تفرض اقل من 1.

كتلة الماء المتاخر هو استجابة الى تقلص سماكة طبقة المحلول الملحي والتي تدخل في حسابات خطوة الزمن القادم .

حساب انخفاض سمك الطبقة يعتمد على خصائص الماء عند معدل درجة حرارة محلول الملحي في كل فترة زمنية محددة. يمكن زيادة معدل التبخّر وكالاتي:

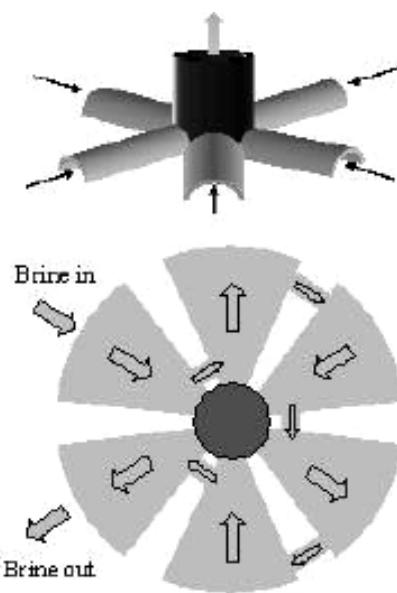
١- زيادة ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة المحلول الملحي مثل عملية تسخين المحلول ، وهذا يقلل من الحرارة الكامنة للتذمر .

2-زيادة معامل انتقال الحرارة بالحمل خلال سرعة عالية لجريان الهواء في منطقة سطح المحلول الملامسة للهواء.

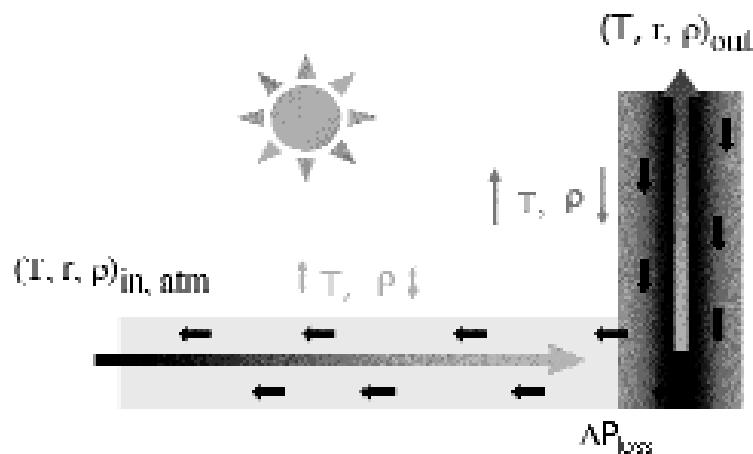
3- خفض الرطوبة النسبية وهذا يزيد من ضغط البخار المشبع من خلال تسخين الهواء.

هذا الجهاز يتكون من بيت بلاستيكي مكون قطاعات دائرة متعددة تعمل بالحمل الحراري مزودة في مركزها بمدخنة شكل (4-9) و (5-9). ان الهواء الموجود في البيت البلاستيكي يسخن بواسطة الاشعاع الشمسي مما يؤدي الى رفع درجة حرارته وانخفاض كثافته. اما في المدخنة الشمسية فان الهواء يسخن اكثر كونه يمثل مجمع شمسي كفؤ ، والقوة المحركة للهواء فيه هي نتيجة الاختلاف بالضغط بين الدخول والخروج وهذا ينعكس على الاختلاف بكثافة الهواء داخله نتيجة تسخينه وكالاتي:

: الاختلاف بالضغط (باسكال).



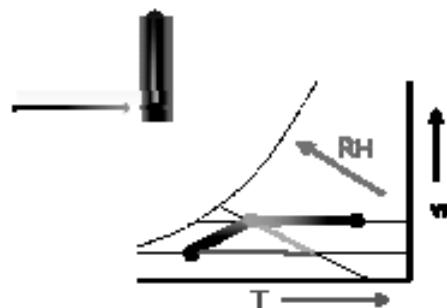
شكل (9-4): حركة المحلول الملحي.



شكل (9-5) : مخطط لجهاز إنتاج الملح بالطاقة الشمسية.

جريان الهواء يحدث عندما القوة المحركة تفوق الفقدان الحراري وهذا العمل ذاتي مثل الترموسيفون . عندما المحلول الملحي الموجود في البيت الزجاجي يسخن بفعل الطاقة الشمسية ويتبخّر الماء منه تسمى هذه العملية بالتبrierd الايدياتيكي

لجريان الهواء . في المخطط السايكرومترى لجريان الهواء في البيت الزجاجي يكون هناك جمع بين التسخين عند رطوبة نوعية ثابتة والتبريد الادبياتي . في المدخنة الشمسية يكون التسخين عند رطوبة نوعية ثابتة. كما هو موضح في شكل (6-9).



شكل (6-9) : التسخين في المدخنة.

الربط بين تصميم مجفف شمسي لانتاج الملح والصيغة العددية للتبخير

الربط بين صيغة تبخير محلول الملحي الموصوف في ما تقدم مع تصميم مجفف للملح يجب ان يعكس الظروف الحدية المتغيرة التي يحصل عليها من مكان طبقة محلول الملحي في المجفف الذي يعمل بالحمل الطبيعي. بعد هذه التغيرات في ظروف طبقة محلول الملحي وبالتحديد فقدان درجة الحرارة بالتوصيل والاشعاع وتحديد سرعة الهواء ودرجة حرارته يجب ان يأتي خلال عملية التكرير *iterative* التي تقارب الى ظروف الجريان المستقر في تلك القوة الرئيسية المعطاة بدرج الكثافة والتي تعادل فقد الحراري في المنظومة. هناك عدة افتراضات يجب اخذها بنظر الاعتبار وهي:

- 1-افتراض ان سرعة جريان الهواء محددة خلال مقطع الدراسة .
- 2-تحديد كثافة الهواء الداخل (يعتمد على درجة حرارته الاولية) والجريان الكتلي والجمي (يعتمد على السرعة ومساحة المقطع).
- 3-تحديد ارتفاع درجة حرارة الهواء نتيجة امتصاص الطاقة الشمسية من خلال خصائص المجمع الشمسي المتمثلة بمقطع البيت البلاستيكي و حاصل

ضرب الامتصاصية - الانفاذية في معامل الانزاع الحراري ضرب معامل الفقدان الحراري الكلي في معامل الانزاع الحراري . على افتراض ان درجة حرارة الهواء Δt وهذه العوامل تحدد كفاءة المجمع الشمسي وكالاتي:

$$\eta = F'(\tau\alpha) - F'U_L \times \frac{\Delta t}{I} \quad (9-10)$$

لتحديد الزيادة في درجة الحرارة للهواء الحار المار خلال مقطع من المجمع الشمسي فيؤخذ بنظر الاهتمام زمن مرور دقائق الهواء خلال طول المجمع .

$$Q = mC_p \Delta t = IA_{capt}\eta_{col} \quad (9-11)$$

: المساحة من البيت البلاستيكى المعرضة للاشعاع الشمسي.

4- تحديد كتلة الماء المتاخر

من خلال الصيغة الرياضية لتبخير محلول الملحي بالطريقة التقليدية المار ذكرها فان كتلة الماء المتاخر تحسب من المعادلة (9-8) حيث ان خواص الهواء معطاة من معدل درجة الحرارة وخصائص محلول الملحي عند درجة حرارة محلول الاولية.

4- التبريد الادبياتيكي:

ان كتلة الماء المتاخرة هي لتحديد كمية الطاقة المتصروفة بواسطة جريان الهواء لهذا الغرض التي سوف تحدد التبريد للهواء التالي ، باعتبار ان الحرارة ناتجة من الاشعاع الشمسي وهذا سوف يؤكد درجة الحرارة النهائية عند مقطع الخروج.

$$Q_{evap} = mC_l m_{evap} = m_{air} C_{pair} I \Delta t \quad (9-12)$$

6- ظرف جريان الهواء الاخيرة يتم الحصول عليها من المخطط السايكرومترى ثم يدخل هواء جديد له ظروف اولية للمقطع القادر .

7- حساب الفقد الحراري: بعد تحديد ظروف جريان الهواء خلال فتحة المنظومة على اعتبار ان مميزات المدخنة مختلفة عن المجمع ولايحصل فيها تبريد ادبياتيكي وهذا ممكن ان يحدد من خلاله الفقدان الحراري الكلى على

- المنظومة والذي يجب ان يساوي القوة الرئيسية المعطاة في المعادلة (12-9).

القيمة المفترضة لسرعة جريان الهواء عند دخوله البيت البلاستيكي متغيرة ، والفقد الحراري يساوي القوة الرئيسية التي تبدأ مرة أخرى بتهوية أخرى له.

8-ظروف المحلول: مثل درجة حرارة المحلول النهائية التي ستكون مستخدمة في الخطوة الزمنية القادمة.

الظروف المحيطة للمحلول: إن مكان طبقة محلول الملح في المجف الطبيعى للملح يؤثر على موازنة الطاقة من خلال:

1- امتصاص الاشعاع الشمسي بواسطة طبقة المحلول الملحي F_s يصبح مضروباً بانبعاثية البيت البلاستيكى.

الغطاء للبيت البلاستيكي تعتمد على درجة حرارة الجو وشدة الاشعاع الشمسي من خلال :

-3 الفدان عن طريق التوصيل الى التربة
 المجف الشمسي لإنتاج الملح يتكون من حوض للتبخير مساحته 20 m^2
 مبطن بطبقة من PE+thermal polyethylene (PE+EVA) سمك كل طبقة 0.2 ملم ومزود بمدخنة شمسية قطرها 0.8 م مصنوعة من انبوب حديدي مغلون مصبوع بلون اسود كما موضح في الشكلين (7-9) و (8-9) ويوضح الشكل (9-9) طريقة مراقبة عمل الجهاز.

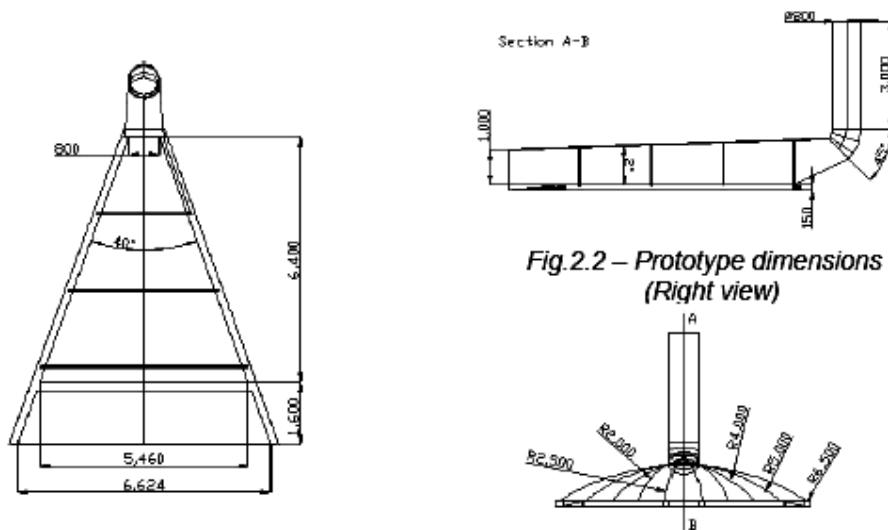
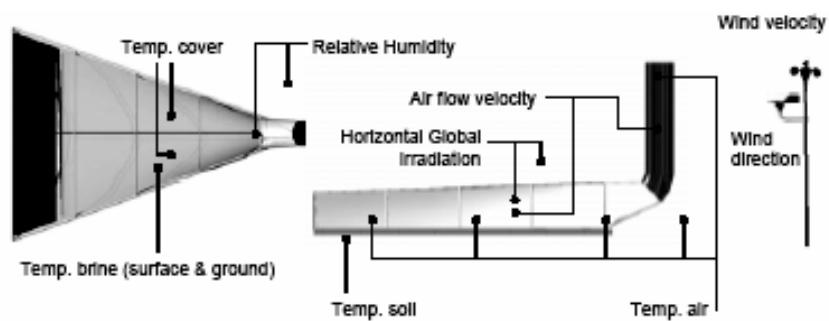


Fig. 2.2 – Prototype dimensions
(Right view)



شكل (9-8): مجفف شمسي لإنتاج الملح.

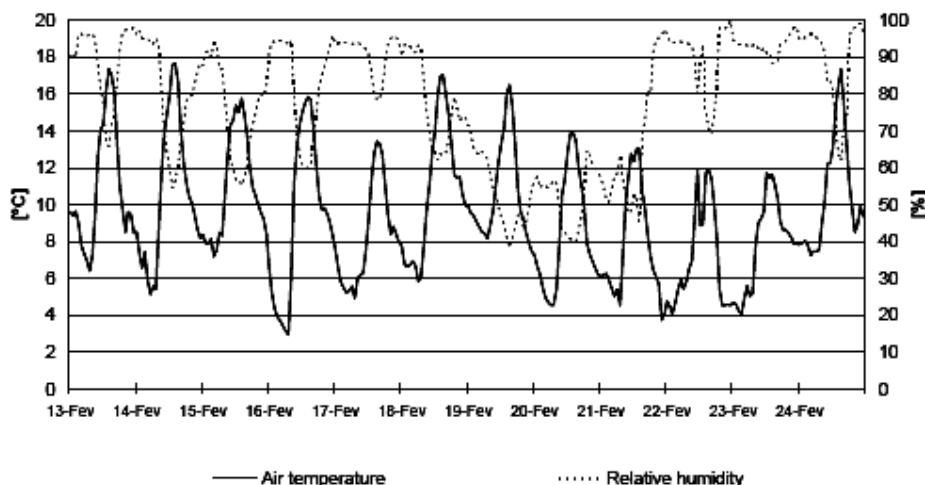


شكل (9-9): مجفف شمسي لإنتاج الملح.
(Pereira et al., 2003).

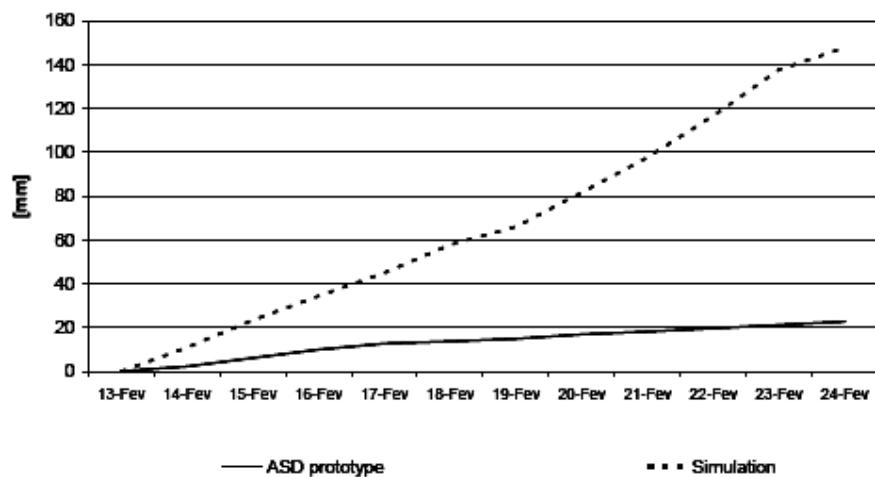
يوضح الشكل (9-10) تبخر الماء من محلول الملحي من ناحية التمثيل الهندسي والبيانات العملية حيث ان التبخر يزداد مع زيادة ایام عمل الجهاز والبالغة 12 يوم كما ان القيم النظرية كانت اعلى من القيم العملية وهذا بسبب ان فقدان من الناحية العملية كان اكبر من حسابات الصيغة العددية . ويوضح الشكل (11-9) سرعة الهواء خلال 12 يوم وعلى ارتفاع 30 سم من سطح محلول الملحي وكذلك في المدخنة ان سرعة جريان الهواء فوق سطح محلول اقل كثيرا من معدل القيمة المتوقعة.

يحسب معدل سرعة الهواء في المدخنة (\bar{U}_{chim}) كالتالي:

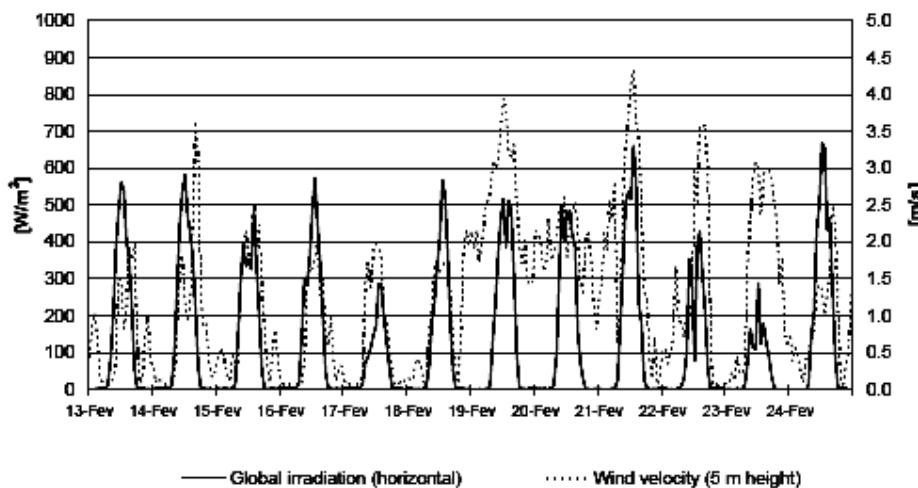
Df : هو القوم المحركة (باسكال)



شكل (9-10): تبخر الماء من محلول الملح.



شكل (9-11): سرعة الهواء فوق محلول الملح.



شكل (12-9): الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي وسرعة الريح.

معدل مقطع السرعة يحسب:

$$\frac{U_{y/CH}}{U_\infty} = (y/CH)^{2.5} - (y/CH)^3 \dots \dots \dots \quad (9-15)$$

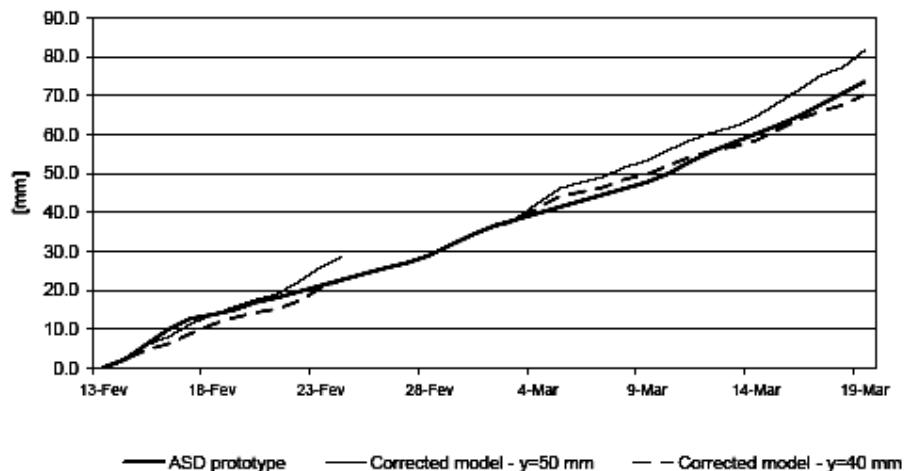
بينما معدل مقطع السرعة في مقطع التبخر هو $\frac{CH}{Ux}$ سرعة الهواء غير المثار و y الارتفاع فوق سطح المحلول الملحي

$$\overline{U} = U_{\infty} \int_0^1 \left[(y/CH)^{2.5} - (y/CH)^3 \right] \theta(y/CH) \dots \quad (9-16)$$

سرعة جريان الهواء بالحمل هي دالة للمسافة من سطح محلول الملح ومعدل سرعة جريان الهواء من المعادلتين ينتج:

$$U_{y/CH} = \frac{\bar{U}(y/CH)^{2.5} - (y/CH)^3}{\int_0^1 [(y/CH)^{2.5} - (y/CH)^3] \beta(y/CH) dy} \dots \quad (9-17)$$

معدل السرعة في مقطع التبخر حسب من المعادلة (16-8) بمعدلات سرع مختلفة لجريان الهواء وكما هو موضح في شكل (9-13).



شكل (9-13): معدل السرعة في مقطع التبخر.

الفصل العاشر

خزن الطاقة الشمسية Solar Storage

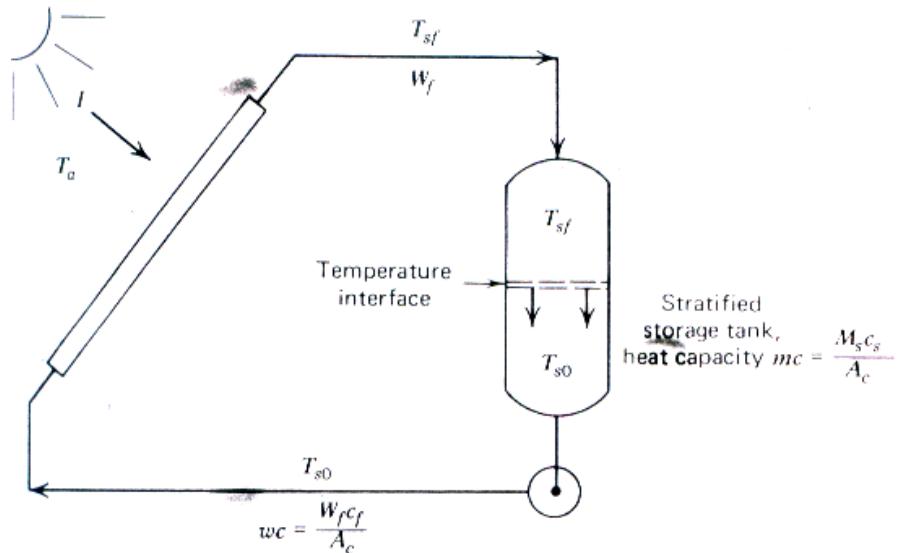
هناك نوعين اساسيين للخزن في انظمة التسخين بالطاقة الشمسية هما:

1- الخزن على شكل طبقات Stratified Store

وهو اجباري في منظومات تسخين الهواء غالبا يستخدم في منظومات الماء الساخن للاستهلاك المنزلي. عندما يعود الماء او الهواء الساخن من المجمع الشمسي فانه لا يختلط مع مائع موجود بالقرب من فتحة الدخول للمجمع الشمسي. درجة حرارة الماء الذي يغادر الخزان تكون ثابتة والمجمع يعمل بكفاءة ثابتة ايضا الى حين الوصول الى الخزن التام. تنتقل الحرارة المتجمعة من المجمع الى الخزان وترتفع درجة حرارة الماء الموجود في الخزان ويستمر الارتفاع لحين خروج الماء الساخن من الخزان ووصوله الى فتحة الخول في المجمع وفي هذه الحالة يرافقه انخفاض في كفاءة المجمع . ويمكن اعادة العمل مرة اخرى بتشغيل المجمع بكفاءة ثابتة حتى يصبح الخزن على اتمه مرة اخرى. وكما موضح في شكل (10-1).

وبهذه الطريقة يعود الماء المسخن في المجمع الى الجزء العلوي من الخزان وتبقى هناك بسبب ان كثافته هي اقل من الماء الذي تحته ، وعندما يكون هناك آناء اشد سخونة منه فانه يكون في موقع اعلى . والماء المعاد سوف ينزل الى اسفل الخزان حتى يصل الى مستوى في الخزان ويملك نفس درجة الحرارة ، والماء الذي درجة حرارته اقل فانه يخرج من الخزان ويدهب الى المجمع قيسن ويعود الى المنطقة العلوية من الخزان وهكذا.

ان الخزن بهذه الطريقة بالنسبة للهواء يختلف قليلا بالرغم من ان وسط انتقال الحرارة هو الهواء ووسط الخزن هو مادة صلبة مثل الحصى ذو الاقطرار القليلة وتكون متجانسة في الشكل ومغلقة بصورة جيدة وتلامس بعضها البعض من نقطة واحدة والحرارة المنقوله لها تواجه صعوبة بالانتقال من واحدة الى اخرى. المكان الذي يوجد فيه الحصى يسمح للهواء الساخن بعد مروره على الحصى يذهب من اسفله الى المجمع الشمسي ويعود الى الحصى من اعلى المكان وهذا الترتيب ليس الزامي كما في حالة الماء.



شكل (10-1): نظام الخزن الطبيعي. (Lunde, 1985)

عندما يدخل الهواء الساخن الى غرفة الصخور فانه يسخن فقط تلك التي الموجودة في الطبقات العليا بسبب ان مساحة المقطع للغرفة الكبيرة وسرعة الهواء تكون قليلة وبعدها يبرد الهواء في الاسفل ويخرج ثم يسخن بواسطة المجمع ويعود الى غرفة الصخور ويؤدي الى تسخينها بشكل اكبر ويعمل على اكتساب الحرارة المتجمعة اصلا الى الجزء الاسفل من الخزان وهذا يحدث بغض النظر عن ان درجة الحرارة الجديدة هي ابرد او اسخن من القديمة. وهكذا فان درجة الحرارة تتحرك الى اسفل الغرفة مثل موجة - موجة وحركتها تكون ايضا عن جريان الهواء الحقيقي.

ان هذه الطريقة ليست كاملة اذ انه هنا لا يكون انتقال للحرارة بين مساحات مجاورة للغرفة. يلاحظ من الشكل السابق الذي يكون تحت ظروف تشغيل ثابتة . تحسب الحرارة المتجمعة في المجمع الشمسي من خلال المعادلة الآتية:

$$q_T = F^i \tau \alpha I_T - F^i U_L \left(T_{so} - \bar{T}_a \right) t_T \quad (10-1)$$

عندما عامل المبادل الحراري $F_i F_X = F^i$

الخزن يصبح كامل بعد زمن مقداره t_s كافي لجريان المائع القادم من المجمع الشمسي w_f لتسخين الكتلة الداخلية M_s من محتويات خزان الخزن الى درجة حرارة الخزن النهاية T_{sf} ، عند هذا الزمن الحرارة المتجمعة بالضبط تساوي الحرارة المطلوبة لرفع درجة الحرارة داخل الخزان الى درجة الحرارة عند المخرج وايضاً تساوي الحرارة المستلمة بواسطة جريان المائع الى خزان الخزن فوق الفترة الزمنية t_s .

$$Q_T = M_s C_s (T_{sf} - T_{so}) = W_f C_f (T_{sf} - T_{so}) t_s \quad (10-2)$$

حيث C_s تمثل السعة الحرارية لخزان الخزن و C_f تمثل السعة الحرارية لمائع الخزن وهذه سوف تكون مماثلة لخزن الماء ولكن تختلف عن نظام هواء - صخور . t_s هو الوقت الاجمالي للخزن ، وعند التقسيم على مساحة المجمع في المعادلة (10-1) يحسب الوقت الاجمالي من العلاقة الآتية:

$$t_s = \frac{M_s C_s}{W_f C_f} = \frac{m_s c_s}{w_f c_f} \quad (10-3)$$

حيث $w_f c_f$ هي سعة الخزن ومعدل سعة جريان المائع على الترتيب بعد انتهاء فترة الوقت الاجمالي الاول ، وان درجة حرارة خزان الخزن الجديدة تحسب :

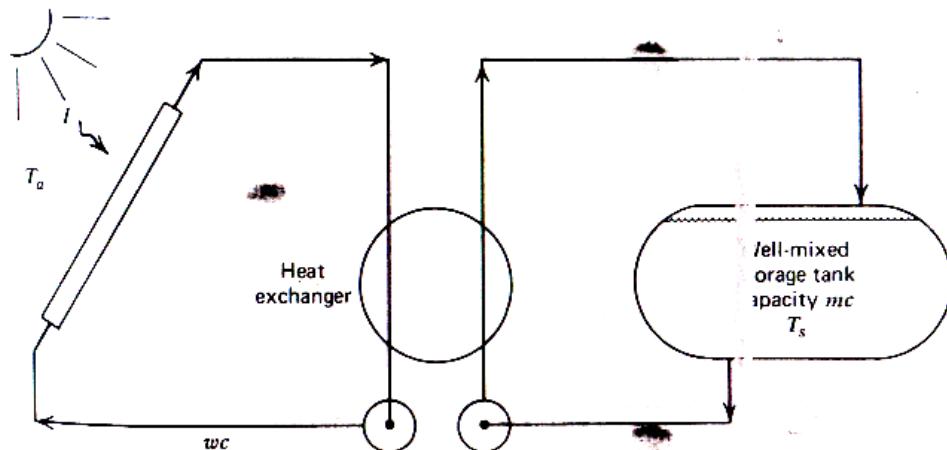
$$T_{sf} = T_{so} + \frac{q_T}{m_s c_s} \quad (10-4)$$

اذا كانت ظروف التشغيل غير ثابتة فتستخدم المجاميع المعتادة والمعادلات (10-2) و (10-4) حيث تعطي معدل درجة حرارة الخزن بحيث $I_T \leq t_s$.

2- الخزن بالخلط الجيد

تستخدم هذه الطريقة للسوائل فقط عندما حجم الماء في الخزان يكون مخلوط جيدا ، فان درجة حرارته تكون متجانسة وتميل للارتفاع ببطء كتسخينه خلال اليوم عند ارتفاع درجة حرارة الخزن فان الكفاءة تمثل لانخفاض. شكل (10-2).

من هنا درجة حرارة الماء المخزون تميل الى الارتفاع بسرعة وبصورة مبكرة خلال فترة التجمیع . الخزن المخلوط جيدا قد يبدو ليكون اقل كفاءة من الخزن . *Stratified* بطريقة



شكل (10-2): نظام الخزن بالخلط الجيد. (Lunde, 1985)

$$\bar{T}_s = \frac{T_{sf} + T_{so}}{2} \quad (10-5)$$

حيث T_{so} تمثل درجة حرارة الخزن الاولية و T_{sf} تمثل درجة حرارة الخزن النهائية.

درجة حرارة الخزن النهائية تكون مميزة حسب الاتي:

الحرارة المجمعة بواسطة المجمع = الحرارة المضافة الى الخزن

$$Q_T = MC(T_{sf} - T_{so}) \quad (10-6)$$

M تمثل كتلة السائل في الخزن وعند قسمة طرفي المعادلة على مساحة المجمع

الشمسي ينتج:

$$q_T = mc(T_{sf} - T_{so}) \quad (10-7)$$

بعد استخراج T_{sf} من المعادلة (10-2) وتعويض الناتج بالمعادلة (10-5) ينتج :

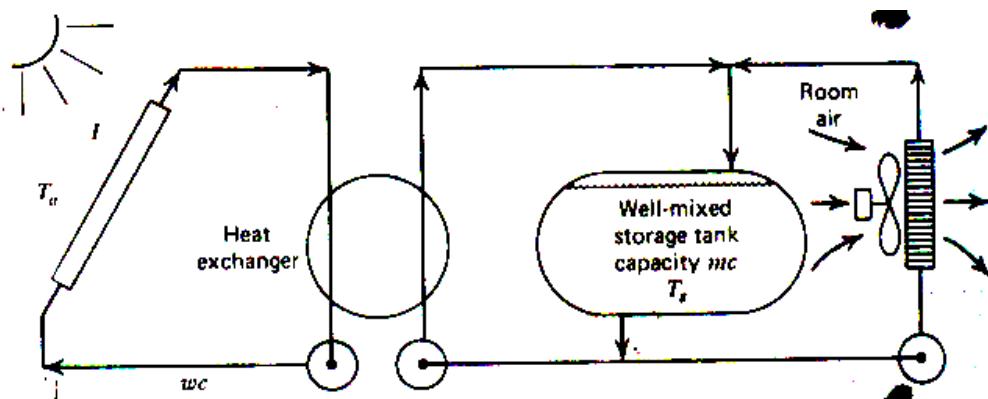
$$\bar{T}_s = \bar{T}_{so} + \frac{q_T}{2mc} \quad (10-8)$$

$$q_T = F_i [\tau \alpha I_T - U_L (T_s - T_a) t_T] \quad (10-9)$$

عند تعويض المعادلة (10-8) بالمعادلة (11-9) ينتج:

$$q_T = \frac{F_i [\tau \alpha I_T - U_L (T_{so} - T_a) t_T]}{1 + \frac{F_i U_L t_T}{2mc}} \quad (10-10)$$

ان المعادلة (10-10) لا تمثل حالة تطبيقية لتطبيقات الطاقة الشمسية لانها لا تأخذ بنظر الاعتبار مقدار الطلب على الحرارة المخزنة خلال فترة عمل المجمع الشمسي ويوضح الشكل (10-3) بأنه سوف يحفظ درجة الحرارة تحت درجة حرارة الخزن بقليل ليسمح باضافة حرارة بنسبة قليلة.



شكل (10-3): نظام الخزن الطبيعي مع مبادل حراري. (Lunde, 1985).

الطلب يمكن ان يكون متضمن اشتراكاً بديل بمتغير جديد . الحرارة المجمعة الصافية تعطى من خلال المعادلة الآتية:

$$q_N = q_T - I_T \quad (10-11)$$

I_T هو الطلب معبراً عنه كحمل حراري لوحدة مساحة المجمع الشمسي الذي يحدث خلال زمن معين هو t_T .

عند ما تستخدم في المعادلة (10-8) الحرارة الصافية يمكن اعادة كتابتها كالتالي:

$$\bar{T}_s = T_{so} + \frac{q_N}{2mc} \quad (10-12)$$

لذلك فان الحرارة الصافية المتجمعة تعطى بالمعادلة الآتية:

$$q_N = \frac{F_i [\tau \alpha d_T - U_L (T_{so} - T_a) t_T]}{1 + \frac{F_i U_L t_T}{2mc}} \quad (10-13)$$

يمكن التنبأ بارتفاع درجة حرارة الخزن خلال اليوم وكالاتي:

$$\bar{T}_{sf} = \bar{T}_{so} + \frac{q_N}{mc} \quad (10-14)$$

هناك طرق تقليدية لخزن الطاقة الشمسية مثل استخدام طريقة المثعب الحراري *packed bed Thermosyphon* . وكذلك استخدام طبقة من جسيمات صلبة storage مثل الصخور والقطع المعدنية والزجاجية في خزن الطاقة ويتم عن طريق امرار هواء ساخن بواسطة المجمع الشمسي على طبقة الجسيمات الصلبة . وكذلك يستخدم البرافين والشمع والمحاليل الملحية . اما الطرق المستخدمة للتجميع والخزن في ان واحد مثل الجهاز الموضح في شكل (10-1) الذي يتكون من مجمع شمسي يتالف من عدة انبيب مصنوعة من مادة لدنة مطلية بطلاء اسود قطر كل منها 0.2 م . يوضع الماء المراد تسخينه في الصباح ويُسخن بواسطة الطاقة الممتصة من الشمس . ويكون معزول بواسطة الصوف الزجاجي ويغطى من الاعلى بغطاء شفاف .

هناك نوع اخر يكون على هيئة خزان متغير العمق يسمى الحوض البسيط للتجميع والخزن في ان واحد. كما مبين في شكل (10-4) . ويتميز هذا النوع من المجموعات بعدم وجود صفيحة امتصاص، حيث يقوم الماء الموضوع داخله بعمليتي التجميع والخزن في ان واحد. ونتيجة لارتفاع درجة حرارة الماء عند التشغيل تتغير الكثافة فيرتفع الماء الساخن الى المنطقة التي يكون عمق الماء فيها قليلا ويخرج من فتحة الخروج .

هناك سخان ماء شمسي بشكل وسادة لدنة سعته 240 لتر من الماء . ويصنع الجهاز من غطاء شفاف محيطا بتركيب حديدي منحنية معطيا شكلا يماثل الوسادة. ويوجد نوع متطور من هذا السخان على شكل حقيبة لدنة لغرض امتصاص الطاقة

الشمسية مغطاة من الاعلى بغطاء شفاف مصنوع من مادة التدلر *tedlar* كما في شكل (10-5).

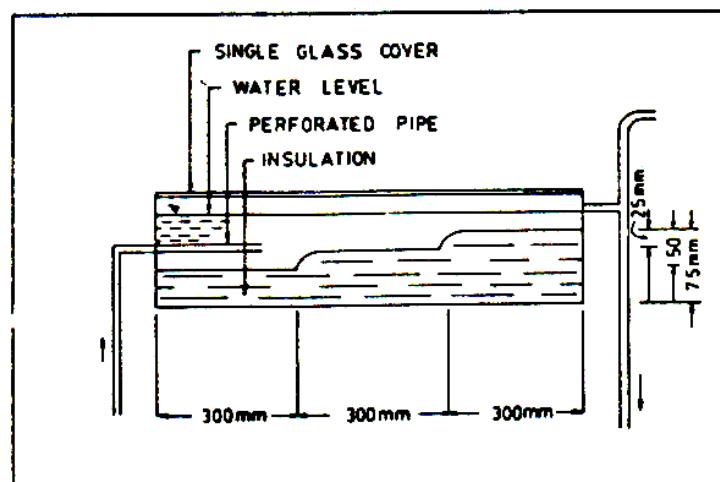
يبين الشكل (10-6) مجمع شمسي على هيئة خزان مستطيل الشكل ويشمل على غطاء زجاجي . وانه كلما زاد العمق انخفضت درجة الحرارة وازدادت الكفاءة. والعمق الافضل لهذا الجهاز هو 10 سم.

هناك نوع اخر يتكون من انبوب مصنوع من مادة موصليتها الحرارية عالية، يوضع على سطح التربة بشكل يعطي مساحة سطحية لغرض امتصاص الطاقة الشمسية ويمرر الماء في الانبوب قبل تسخينه ، ويستفاد من حرارة طبقة التربة التي تعمل كوسط للخزن في حالة غياب الشمس. وكذلك يستخدم الطابوق والرمل والكونكريت كبدائل للتربة.

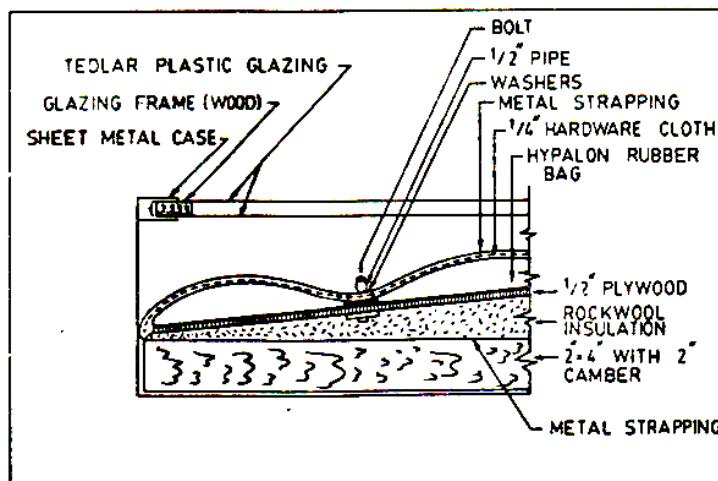
يوضح الشكل (10-7) استخدام صفيحة امتصاص مصنوعة من النحاس مثبت فوقها عدد من الانابيب النحاسية حيث يتصل كل انبوب بالخزان بواسطة فتحتين احداهما لدخول الماء والاخرى لخروجها. ويتطلب الجهاز استعمال منظم للسيطرة على عملية دخول الماء الى الانابيب وكذلك للتغلب على عملية الجريان العكسي. استخدمت طبقة من مادة شفافة ومسامية وتمتاز بعدها مواصفات ، منها انها ترتبط بسهولة عند امرار السائل المراد تسخينه خلالها. اذ يقوم السائل بامتصاص الطاقة الشمسية بينما تعمل المادة ذاتها على خزن تلك الطاقة. شكل (10-8).

وقد استخدمت مادة صلبة وشفافة مثل *methyl methacrylate* حيث توضع هذه المادة فوق صفيحة الامتصاص الاعتيادية بينما يجري السائل في ممرات اسفلها. شكل (10-9).

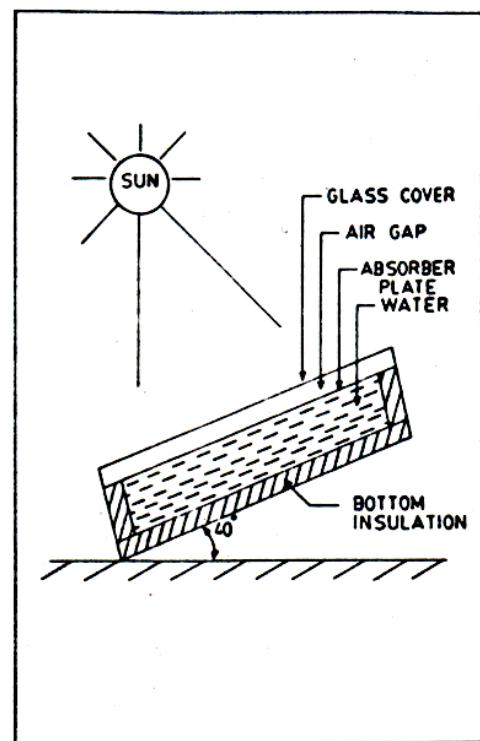
كما استخدمت مواد مثل كرات صلدة ومجوفة ، وشبكات منخلية معدنية كمواد امتصاص في مجمع شمسي افقي. اذ يضخ الماء بواسطة مضخة صغيرة خلال هذا المجمع . يعتبر الماء في هذه الحالة سطح امتصاص للاشعة الشمسية ذات الاطوال الموجية العالية وخصوصا في مدى الاشعة تحت الحمراء كذلك يمتص الاشعاع الحراري من مواد الحشو. ان الاشكال من (10-4) الى (10-10) مذكورة في (مرزوق، 1985).



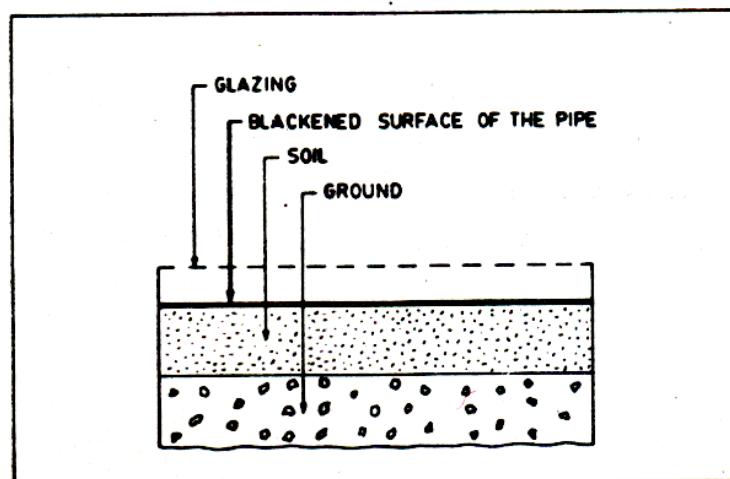
شكل (10-4):الخوض البسيط للتجمیع والحزن في ان واحد.



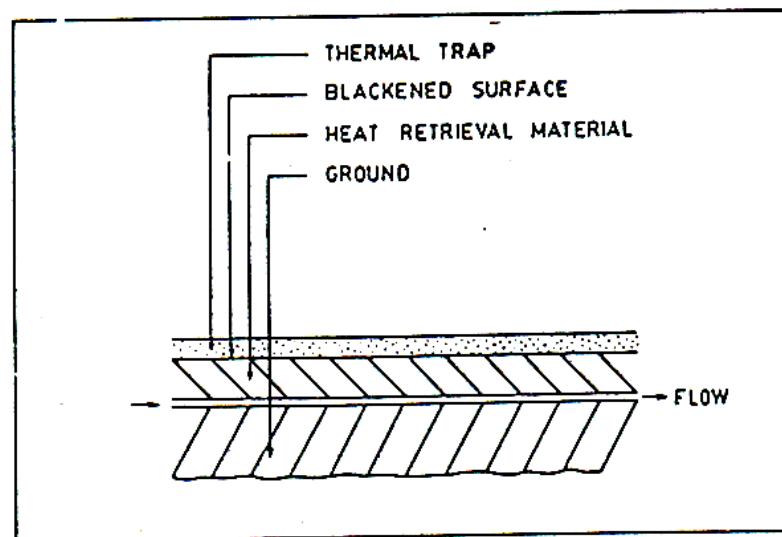
شكل (10-5):سخان ماء شمسي بشکل حقيقة لدنة لخزن الطاقة.



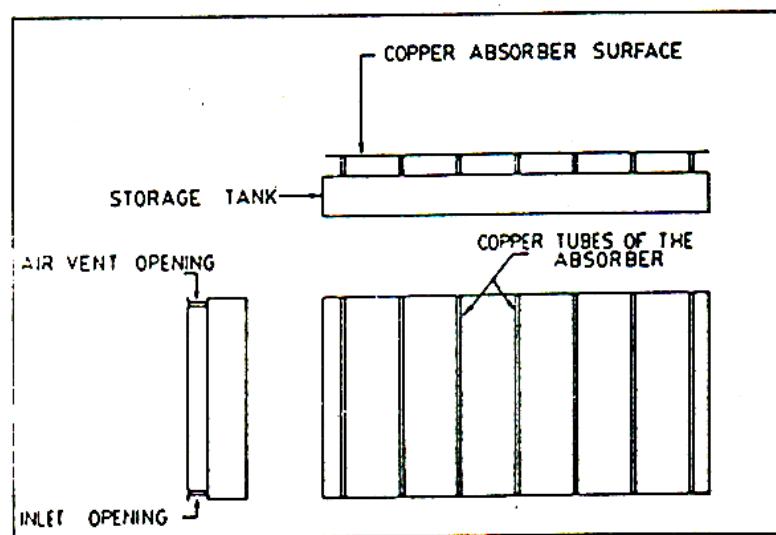
شكل (10-6): سخان ماء شمسي بشكل خزان مستطيل الشكل.



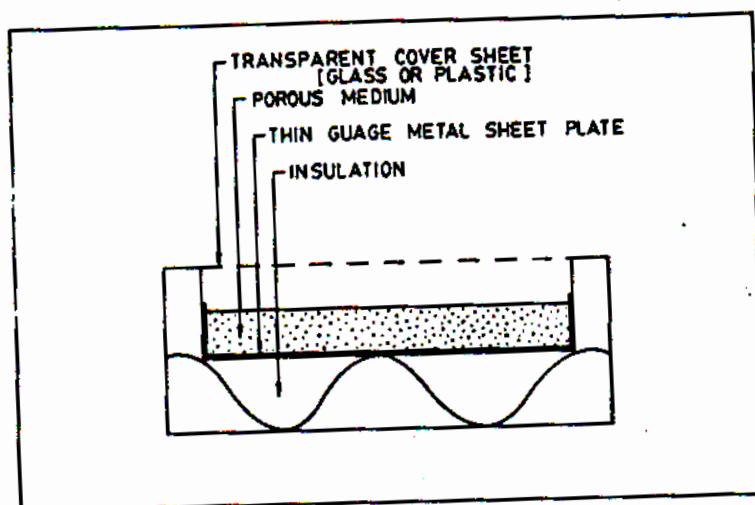
شكل (10-7): استخدام التربة كوسط للتجميع والخزن في آن واحد.



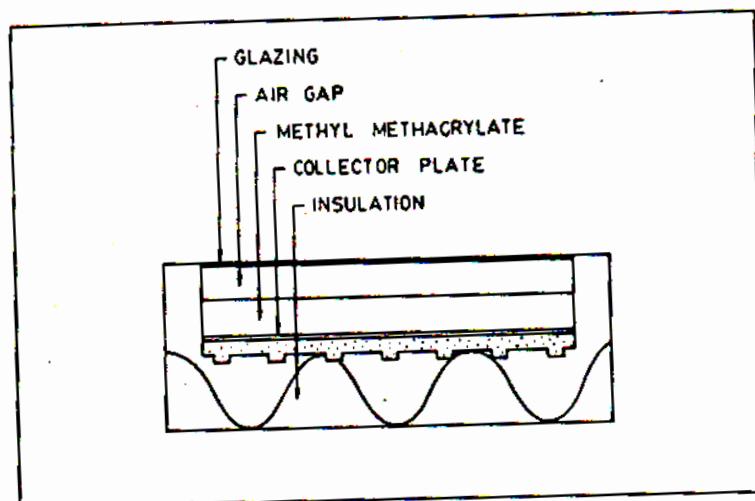
شكل (10-8): استخدام الطابوق والكونكريت كوسط للتجميع والخزن في آن واحد.



شكل (10-9): استخدام الخزان الاعتيادي وانابيب نحاسية.



شكل (10-10): استخدام الوسط المسامي لتجمیع و خزن الطاقة.



شكل (10-11): استخدام مادة ميثايل مياثاكرايليت فوق صفيحة الامتصاص الاعتيادية.

هناك جهاز لتجمیع و خزن الطاقة الشمسية باستخدام الطبقة الحصوية يتكون من مجمع شمسي يحتوي على خزان من الحديد المغلون قیاس 18 حجمه 0.15 m^3

واستخدام الحصى والماء . ولغرض توزيع الحصى بالتساوي فقد صنع هيكل حديدي مستطيل الشكل من قضبان حديدية خفيفة وصغيرة القطر نسبياً بابعاد تقل قليلاً عن الابعاد الداخلية للخزان بحيث يمكن تركيبه بسهولة بداخله . الهيكل الحديدي مقسم إلى ثلاثة اقسام بواسطة قضبان حديدية عرضية وضع بينها طبقتان من مشبك معدني قياس 0.5 انج وذلك لحماية الخزان من تقل الحصى ومنع الاخير من التجمع عند المنطقة السفلية من الخزان عند امالة المجمع بزاوية معينة ، ووضع الخزان داخل الصندوق الخشبي . بلغت مساحة سطح الامتصاص 1.76 m^2 . وعزل الخزان من الاسفل بالصوف الزجاجي.

تكتب معادلة الاتزان الحراري للمجمع التي من خلاها تحسب حرارة الماء و كما يلي:

الطاقة الممتصة من سطح الامتصاص = الطاقة التي يمتصها الماء = الطاقة التي
تمتصها مادة الحشو + الطاقة التي تمتصها كتلة الخزان + كمية الحرارة المفقودة من
المجمع الشمسي.

$$I_T(\tau_g \alpha_p)_e F_{sh} F_d A_a = [V_t e \rho_w C_w (T_{wf} - T_{wi}) + V_i \rho_s (1-e) C_s (T_{sf} - T_{si}) + m_c C_c (T_{cf} - T_{ci})] \frac{1}{\Delta \tau} + U_L (T_p - T_a) A_a \dots \quad (11-14)$$

وتصبح المعادلة في حالة عدم استخدام مادة الحشو (ماء فقط) كالتالي:

حیث ان:

I : الاشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع (واطام²)

($\tau_g \alpha_p e$) حاصل ضرب الانفاذية الامتصاصية الفعال

معامل الظل وقيمه F_{sh} : 0.97

F_d : معامل الغبار وقيمه 0.98

مساحة سطح الامتصاص (m^2) : A_a

m_w : كتلة الماء في الخزان(كغم)

m_s : كتلة الحصى في الخزان (كغم)

m_c : كتلة مادة الخزان (كغم)

e : معامل المسامية

U_L معامل انتقال الحرارة الكلي (واطام $^{\circ}$ م)

T_w : درجة حرارة الماء ($^{\circ}$ م)

T_{wf} : درجة حرارة الماء النهائية ($^{\circ}$ م)

T_{wi} : درجة حرارة الماء الابتدائية($^{\circ}$ م).

T_s : درجة حرارة الحصى($^{\circ}$ م).

T_{sf} : درجة حرارة الحصى النهائية بعد انقضاء فترة زمنية مقدارها $\Delta \tau$ ($^{\circ}$ م).

T_{si} : درجة حرارة الحصى الابتدائية($^{\circ}$ م).

T_c : درجة حرارة اسفل الخزان($^{\circ}$ م).

T_{cf} : درجة حرارة اسفل الخزان النهائية بعد انقضاء فترة زمنية مقدارها $\Delta \tau$ ($^{\circ}$ م).

T_{ci} : درجة حرارة اسفل الخزان الابتدائية($^{\circ}$ م).

C_c : الحرارة النوعية لمادة الخزان (كج/كغم. $^{\circ}$ م).

C_c : الحرارة النوعية للماء (كج/كغم. $^{\circ}$ م).

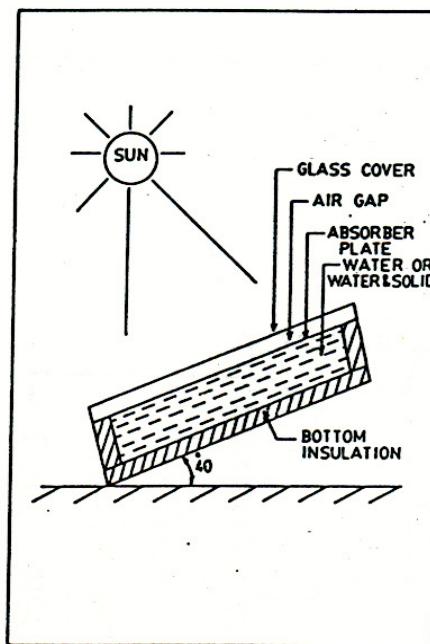
C_c : الحرارة النوعية للحصى (كج/كغم. $^{\circ}$ م).

T_p : متوسط درجة حرارة صفيحة الامتصاص($^{\circ}$ م).

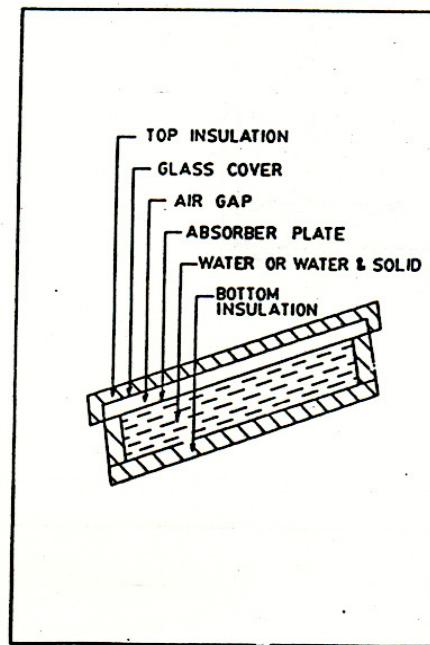
T_a : درجة حرارة الجو($^{\circ}$ م).

p_w : كثافة الماء (كغم 3).

p_s : كثافة الحصى(كغم 3).



شكل (10-12): استخدام المجمع الشمسي المستخدم
للحزن نهاراً. (مرزوق، 1985).



شكل (10-13): استخدام المجمع الشمسي ليلاً بعد تغطيته
بطبقة عازلة. (مرزوق، 1985).

المصادر

الحلفي ، اسعد رحمن (2006). تطوير مجفف شمسي ودراسة كفاءته في تجفيف بعض الفواكه والخضر. اطروحة دكتوراه، كلية الزراعة ، جامعة البصرة.

الحلفي ، اسعد رحمن (2007). تصميم وتصنيع واختبار مجفف شمسي شبه مختلط لتجفيف التمر. مجلة البصرة لابحاث نخلة التمر. المجلد 6 ، العدد 1.

الحلفي، اسعد رحمن و منصور، غادة عبدالله و عيسى، هالة يحيى و جراد، بشري بدر (2009). دراسة تأثير المجفف الشمسي المصنوع محليا في الخواص الحرارية للاغذية المجففة مجلة ابحاث البصرة (العلوميات).العدد 35 ، الجزء 6.

الحلفي ، اسعد رحمن (2010). تجفيف الذرة الصفراء بالطاقة الشمسية. مجلة البصرة للعلوم الزراعية . مقبول للنشر.

الربيعي، حسن هادي (2010). تصميم جهاز لبسترة الحليب بالطاقة الشمسية ودراسة كفاءته. رسالة ماجستير ، قسم علوم الاغذية ، كلية الزراعة ، جامعة البصرة.

ماضي ، شاكر مهلهل (1985) . دراسة منظومة تكييف هواء امتزازية – تخميرية مفتوحة بأسستخدام الطاقة الشمسية . رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة البصرة ، العراق .

مجيد ، غيث حميد و الحلفي ، اسعد رحمن (2007). تصميم مجفف شمسي مزود والتسخين واختباره في تجفيف الاسماك واللحوم. مجلة بمنظومتي الرابع ابحاث البصرة 33 العدد 3. الجزء 3.

مرزوق ، خليل خضير (1985) . تجميع وхран الطاقة الشمسية بأسستخدام الطبقة الحصوية . رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة البصرة ، العراق .

A ssouad , Y. & Lavan , Z. (1988) . Solar desalination with latent heat recovery . J. Solar Energy Engin . 110 , M –16 .

A.L.E.S.(2006).The reflective open box cooker. <http://www.solar solution.infolmain.htm1>.

Adheem , I.M. (1983) . An Investigation into solar assisted evaporation cooling . M.sc. thesis . College of Engineering , Univ. of Basrah .

- Adsten , M . (2002)** . Solar thermal collectors at high latitudes . Design and performance of non Tracking concentrators . Ph. D. thesis , Uppsala – University.
- Al-Amri, A. M. S.(1997)**. Thermal performance test of solar dryer under humid climatic conditions. Agric. Mech. in Asia, Africa and Latin America,vol.28,No.
- Albert,Agric.,food development(1986)**.Solar grain drying.practical information for Alberta A gric. Indutry Agdex 736-9.
- ASHRAE (1983)**.Steam – Jet Refrigeration Equipment , chapter B. Ashrae Hand book . Atlanta , American society of Heating , Refrigerating and Air conditioning Engineers , Inc . Equipment : 13.1 – 13.6 .
- Ayensu , A.& Asiedu-Bondzie , V. (1986)** . Solar drying with convective self-flow and energy storage . Solar & Wind Technology . Vol.3 , No. 4 , pp273-279 .
- Bales,C.&Nondlander,S.(2005)**.Tca evaluation lab.measurments modeling and system simulation.No.3-9809656-4-3,Hogskolon, Dalarna,Sweden.
- Barbosa-Canovas , G.V. & Vega-Mercado , H. (1996)** . Dehydration of foods : Other methods of dehydration of food and packaging aspects .Chapman and Hill , NewYork .
- Basunia, M. A .& Abe, T.(2001)**.Design and construction of a simple three-shelf solar rough rice dryer. Agric. Mech. in Asia, Africa and Latin America,vol.32,No.3.
- Bennamoun , L.& Belhamri , A. (2003)** . Design and simulation of a solar drying for Agriculture products . J. of Food Engn. Vol. 59 , pp. 259-266 .
- Berlitz , T., et al. (1998)** . Cooling machine with integrated cold storage . International Journal of refrigeration 21(2) : 157 – 161 .
- Bhatia , A.K. & Gupta . (1977)** .Solar dryer FPR drying apricots . Research and Industry . India 21(3) , pp. 188-191 .

- Bolin , H. R. ; Stafford , A. E. & Huxsoll, C.C. (1978)** . Solar Heated fruit dehydrator . Solar Energy 20 : 289 – 291 .
- Bolin , H.R. & Stafford , A.E. & Huxsoll , C.C. (1978)** . Solar heated fruit dehydration . Solar Energy Vol. 20 , pp. 289-291 .
- Buchberg , H. , Cutton , I.& Edwards , D.K. (1976)** . Natural convection in inclosed spaces-Areview of application to solar energy collection. Trans. ASME , J. Heat Transfer , Vol.98 pp. 182-188 .
- Bula , A. J. et al . (2000)** . Thermodynamic simulation of a solar Absorption Refrigeration system Generator – Heat Exchanger .
- Burnes , S.S. et al. (2007)** . Technical and Economic Assement of solar thermal Absorption cooling system in small commercial Buildings .
- CADDET (2000)** . Solar concentrators Hot water for Large Building .www.cadet-re.org.
- Chaouachi , B. & Gabsi , S. (2007)** . Design and simulation of an Absorption Diffusion solar Refrigeration unt . American J . of Applied sciences 4 (2) : 85 – 88 .
- Close , D.J. & Dunkle , R.V. (1976)** .Open cycle solar energy cooling systems . Proc.Inst. Engineers . Annul conference , paper No. 362/2 pp. 25-29 .
- Close , D.J. (1963)** . Solar air heaters for low and moderate temperature applications . Sol. Energy , Vol. 7 , pp. 117-124 .
- Colomer , G. , Cadafalch , J. & Costa , M. (2002)** . Numerical study of a solar collectors. FIER . Tetouan-Moroc.
- David , E. W. V. (2000)** .Solar dryer systems and the internet : important resources to improve food preparation . International conference on solar cooking . Kimberly-South Africa , 26th –29th , Novomber .
- Decko,M. (1980)**. Solar drying in Mali.
- Diouf, N. (1980).** Appropriate technology for solar fish drying in artisanal fishing center.

- Duffie , J.A. & Beckman , W.A. (1980) .** Solar Engineering of thermal processes , Willey – Interscience , New York .
- Duffie , J.A. & Beckman , W.A. (1990) .** Solar Energy Thermal , Processes , Willey – Interscience , New York .
- Duffie , J.A. & Beckman , W.A. (1991) .** Solar Engineering of thermal processes , 2nd edition , New York : Wiley Inter science .
- Dunkle , R. V. (1965) .** A method of solar Air conditioning . Mech. & chem. Engr. Trans. Inst. Enqrs. MCI (73).
- Dutta , S. (2000) .** The Inclined Box – Type solar cooker – A. new design .
- Dutta,S.(2000).**The inclined box-type solar cooker-a new design. Article.
- E.E.R.E. energy efficiency and renewable energy.(1996).** Residential solar heating collectors. Article : DoELGO-10096-051.FS112.
- Eger , B. (2007) .** Experimental results from solar cooker mollifications . American solar energy society , solar conference 2007 , Cleveland , Ohio , July 10th , 2007 .
- Ekedukuwa , O. V. & Norton , B. (1999) .** Review of solar energy drying system II .An over view of solar drying technology – energy conservation and management . 3 , pp. 615-655 .
- El – Bahi & Inan , D. (1998) .** A solar still with minum inclination and coupled to an outside condenser .
- Erhand,A.spindler,K&Hahhe,E.(1998).**Testand simulation of asolar powerd sold sorption cooling machine.international J. of refrigeration 21(2):133-141.
- Farber , E.A. & Morrison , A.C. (1977) .** Clear – Dry design values. In applications of solar energy , for heating and cooling of buildings , edited by Jordan , I.C. & Liu , B.Y.H. , ASHRAE , GRP 170 .
- Fischer , S. (2005) .** Test and simulation of solar thermal collectors with muti – axial incident angle behavior .

Flechon,J.,Lazzarin,R.Spinner,B.Dicko,M.,Charters,W.K.Leinmeier,H.& Hammad,M.A.(1999). Guid to solar refrigeration for remote area and warm countries. Paris international institute of refrigeration (IIR).

Franco, J. ; Luis , R. & Esteban , S . (2000) . Multistage still .

Franco, J. et al. (2007) . Pasteurization of goat Milk using a law solar concentration solar energy .www science direct .com .

Garg ,H.P , Datta , G. & Bandyo-padhyay , B. (1983) . A study on the effect of enhanced heat transfer area in solar heaters. Energy converse .mgmt.Vol. 23 No. 1 pp. 43-49 .

Garg ,H.P. (1987) . Solar food drying . Vol. 3 . In Advances in solar energy Technology , Heating , Agricultural & photovoltaic application of solar energy . D.Reidel publishing Co. : Dordrecht , Holland .

Gomes , D. G. & Fico , JR. G. C. R. (1995) . Experimental study of energy loss in solar energy collectors .

Gomes,D.G.,Nide,G.C. & Fico,J.R.(1995).Experimental study of energy loss in solar energy collectors.

Gremryd,E.(1998).Introduction to refrigeration engineering.Stockholm, dept. of energy tech.,KTH.

Hildbrbrand , C. et al. (2002) . A new solar powered Adsorption Refrigerator with high performance . Hes – So – Eole Dingeniurs DU canton DE VAUD – Lesbat .

Hu,E.J.(1996).Simulated results of a non value ,dialy-cycled,solar powerd carbon/methanol. Applied thermal eng.16(5):439-445.

Igebeka, J. C. (1983).Evaluation of three types of solar dryer for Nigeria crops.

Imagination solar . Solar collectors . www . imagination solar . com .

Isaksson , C.(2006) .Solar cooling published produced by : Ostreeeichkhe Energy – agentur – Austrian Energy Agenly . http : // www . energyagency . at .

ITDG . Solar Drying . http :// www. Nri.org / homepage . html .

Izquierdo , M. et al. (2004) . Solar cooling in Madrid : Experimental results obtained to partial load during 2003 Summer .

Jai,A. E. N. (1981).Out look for solar drying of fish in the cambia. Fisheries dept. Banjul,the Gambia.

JAKOB,U.Eicker,Taki,A.H.&Cook,M.J.(2003).Development an optimized solar driven diffusion –cooling machine. <http://zafh.net/document/diffusion%20absorption%202003pdf>.

Jensen , S. , Kristensen , E. F. & Forman , T.(2001) . Test of a solar crop dryer . first edition . ISBN : 87- 7756 – 583 – 5 . Denmark. p. 96 .

Joshi,C. B., Gewali,M. B. & Bahandari,R. C. (2004).Peformance of solar drying systems: A case study of Nepal. I. E. (I) J.-ID. Vol.85.

Kerr , B. ,P. & Scott , J. (1992) . Use of the solar panel cooker for medical pressure steam sterilization . U.S.A.

Kerr , B. ,P. & Scott , J.(1990) A system for medical sterilization (autoclaving) using solar Geurated steam pressure autoclave page <http://solar cooking .Org / b Kerr>

Kerr , B. ,P.(1990) A simple solar (sun flower) autoclave design , solar cooking Archives . <http://solar cooking .Org / autoclave . htm>.

Kerr , B. ,P.(1996) The kerr – cole large solar panel / propane Hyprid stores , solar cooking archives . <http://search . msn . com / result . aspx?FORM = FREESS & cp = 125 & 9 = autoclave & 91 = site % 3 A solar cooking . org>.

Kessling,W.Laeverman,E.&Kapfhammer,C.(1998).Energy storage for disccant cooling systems component development . solar energy 64(4-6):209-221.

- Khalid,A.ET AL.(1998)**.Exergy analysis of a liquid-dissicant – based,hybrid air conditioning system.energy 23(1):51-59.
- Klein , S. A. & et al. (2005)** . solar Refrigeration . ASHRAE journal 47 : 9 .
- Klien , S.A. , Duffie , J.A. & Beckman , W.A. (1974)** . Transient consideration of flat plate solar collectors. Trans. ASME , Vol.96 , No. 2 , pp. 109-113 .
- Kudish , A.L. et al. (2000)** . Heat transfer process in an air – Blown , multiple –effect solar still with thermal energy recycle .
- Laboratory . (1995)** . Selecting new water heater . Energy Effiency and Renewable Energy . DOE / Go – 10095 – 064 , FS 205 , January .
- Lamm , L.O. (1980)** . Anew expression for the equation of time . Solar Energy . Vol.26 , pp. 465 .
- Li , M. & Wang , R. Z. (2003)** . Heat and Mass Transfer in a flat plate solar solid Adsorption Refrigeration Ice Marker . Renewable energy 28 : 613 – 622 .
- Liu , Y. L. & Wang , R. Z. (2004)** . Performance prediction of a solar / gas Driring Double effect libr – H₂O Absorption system Renewable energy 29 : 1677 – 1695 .
- Lof , O. G. (1955)** . Cooling with solar Energy . World symposium on Applied solar energy , phoenix , Arizona .
- Lu,S.&Yan,W.J.(1995)**.Development and experimental validation of a full scalsolar desiccant radiation cooling system.Renewable energy.6(7):821-827.
- Lunde , P. J. (1980)** .Solar thermal engineering . Willey , New York .
- Lunde , P. J. (1980)** .Solar thermal engineering . Willey , New York .
- Lutz ,K. et al. (1987)** . Development of a muli – purpose solar crop dryer for Arid zones . Solar and wind tech. 4 : 417 – 724 .

Luzzi , A. et al .(1999) . Techno – Economic Analysis of A 10 MW, solar Thermal power plant using Ammonia – Based Thermo chemical energy storage . Solar Energy 66 : 2 , 91 – 101 .

M.S.T.(2000).Mueller solar technik. <http://www.mueller-solar-technik.com>.

Maksudow , T.M. (1979) . Utilization of solar energy for drying of fruit and tobacco. Lebensmittel-Industries. 26 (5) . 209-210 . (1970) . c.f. Fd Sci. tech. abst. 12 (1980) : 5 J 640.

Mande , M. et al. (1998) . Development of An Advanced solar – hybrid Adsorption cooling system for Decentralized storage of Agricultural products in India .

Maruis, Z. B. & Saravacos,G. D. (1986). Solar heating of air for drying Agric. Products. Solar and wind tech. vol.3, No.2,pp. 127-134.

Marulis , Z.B. & Saravacos , G.D. (1986). Solar Heating of air for drying Agricultural products . Solar and wind tech. 3: 127 – 134 .

Mastekbayeva , G. , Bhatta , C.P. , Leon , M.A. & Kumar , S. (1998) . Experimental studies on a Hybrid dryer. Energy program Asian Institution of Technology.

Mc Cracken , H. & Gordes , J. (1985) . Understanding solar stills . VITA , 1600 wilson Boulevard , suite U.S.A.

Metcalf , R. H. (2001) . The microbiology of solar water pasteurization , with applications in Kenya and Tanzania .

Minka,C.J.(2000). Potential improvements to traditional solar crop dryer in Cameron: research and development. CENEEMA. Cameron.

Mittal , V. ; Kasana , K. S. & Thakur , N. S. (2005) . Performance evaluation of solar absorption cooling system of Bahal (Haryana) . J. Indian Inst. Sci . 85 , 295 – 305 .

Mountain,J.(2006). The Bernard solar panel cooker. <http://www.solar-solution.infolmain.htm1>.

Muller , J. Reisinger , G. , Kisgec , J. , Kotta , E. , Tesic , M.& Muhibauer , W. (1989) . Development of a green house – type

- solar dryer for medicinal plants and herbs . Solar & Wind technology , Vol. 6 , No. 5 , pp 523 – 530 .
- Mustekbayeva,G.A.,Chandika,P.,Bhata,M.Augustus,L.&Kumer,S.(1998).**Experimental studies on ahybrid dryer. Energy program,Assian Institute of tech. Thailand.
- Nichols , A. C. & C.E.M. (1993) .** The Tracking solar cooker . Tucson , Arizona.
- Niles , P. W. et al. (1978) .** Dasign and performance of an air collector for industrial crop dehydration . Solar Energy 20 : 19 – 23 .
- Niles, P. W. et al. (1978).** Design and performance of an air collector for industrial crop dehydration. Solar energy vol. 20, pp. 19-23.
- NREL (1996) .** Residential solar heating collectors . energy efficiency and renewable energy . DOE / GO – 10096 – 051 , FS112 march .
- NREL, National Renewable Energy
- Pablo , I.S. (1979) .** Solar drier for tropical fruits and marine products for rural development. NSDB Technology Journal 4 (1) 26-41 . c.f.Fd.Sci.Tech.Abst. 12:5G 339 .
- Parker , B.F. (1981) .** Derivation of efficiency loss factors for solar air heaters . Sol. Energy , Vol. 26 .
- Patil , B. G. & ward , G. T. (1989).** Simulation of solar dryer air drying of rapeseed . Solar energy 43 : 305 – 320 .
- Patil,B.G. & Ward, G. T. (1989).** Simulation of solar dryer air drying of rape seed. Solar energy vol.43,No.5, pp. 305-320.
- Pereiro,C.M.,Mendes,J.F.&Horta,P.(2003).**Advanced solar dryer for salt recovery from brine effluent of desalination med plant.ISES solar world congress.
- Pidhumwan , M. ; Teekasap ,S. & Khedari , J. (2004) .** The effective length of parabolic concentrating collector . The Joint International conference "Sustainable Energy and Environment (SEE)" 1 – 3 December , Hua , Hin , Thailand .

Pott , I. , Konrad , S. , Muhlbauer , W. , Wiriyacharee , P. & Scherer , R. (2002) . The suitability of thai Mango varieties for solar drying. International symposium sustaining food security and managing natural

Pridasawas , W. (2006) . Solar – Driven Refrigeration systems with focus the Ejector cycle . PhD thesis . Energy tech . dept . school of Industrid Engin and Management ,KTH.

Pridasawas,W.&Lundaqvist,P.(2002).Working fluid selection for an ejector refrigeration cycle.Zero leakage – minimum change,Stockholm,Sweden:C.9,Paris:international institute of refrigeration.

Prigmore,D.&Barber,R.(1975).Cooling with the suns heat design consideration and test dta for rankine cycle prototype.solar energy17(3):185-192).

Queens & Sustainable Energy Industry Development Group (2004) . Solar cooling Renewable Energy school workshop .

R.E.S.W. Renewable energy scgool work shops(2004).solar cooking. Queensland sustainable energy industry development group.

Rahman , F. (1981) . Two Dimensional Mathematical Tubular Solar Collector. MSC. Thesis . Chemical Engineering . faculty of the college of Graduate students. King Fahd Univ of Petroleum & Minerals . Dhahran Saudi Arabia .

Raju,J. N. (1989).An energy efficient chmber for FCV tobacco curing process. Solar & wind tech. vol.6 No.2, pp.159-163.

Razzak, F. H. ; Ayoob , N. Y. and Nakeya (1985). Utilization of solar energy in liquid milk processing. Magallat buhut al-taqat al-Samsiyya, 3(2): 35.

resources in south east Asia-challenges for the 21 century - January 8-11 , 2002 at Chiaug Mai , Thailand .

Sabbah , M.A. (1986) .Design and performance of a solar drying system in Riyadh area .J. coll. Agric.King Saud Univ. Vol. 8 No. 1 . pp. 49-76 .

- Saha , L. J. ; Furbo , S. & Autrorskov , S. (2004) .** Thermal performance of evacuated tubular collectors utilizing solar radiation from all direction .
- Sahab,L.J.,Furbo,S. & Antvorskov,S.(2002).**Thermal performance of evacuated tubler collectorsutilizing solar radiation from all direction. Paper. Dept. of civil eng.,tech. univ. of Denmark.
- Sakr , I. ; Mady , N. & Abdel - Hafiz , M. (1970) .** Finned Air – cooled solar still solar lab . National research centre .
- Saleh , H.S. , Omer , F. & Ghalib Y.K. (2002) .** Performance of an indirect solar food dryer in the north Iraqi climate. Agricultural Mechanization in Asia , Africa and Latin America , Vol. 33 , No. 1.
- Saleh , T. & Sarkar, M.A.R. (2002) .** Performance study of a PV operation forced convection solar energy dryer . Accepted for presentation at the technical session of the 8th International and symposium for Renewable Energy Education (ISREE – 8) to be held at orlando . Univ. of Florida , U.S.A. from August 4-8 .
- Sateunananthan , S. & Deonar , S. (1973) .** A two – pass solar air heater. Solar Energy. Vol.15 , pp. 410-419 .
- Sayigh , A.A.M. (1977) .** Solar Energy Engineering. Academic press, London.
- Scanlin , D. (1997) .** Design, construction, and use of an indirect, through – pass , solar food dryer . Home power #57 .
- Sebaii , A.A. , Abaul-Enein , S. , Ramadan , M.R. & EL – Gohary , H. (2002) .** Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer . Energy convection and management. Vol. 43 , pp. 2251-2266 .
- Sebbowa,F. B. (2001).** Solar energy research for crop drying in Kenya.
- Seip , R. (1999) .** Experiments with solar hot air collectors. Home power # 72 .

- Silva , M. ; Schwazer , K. & Medeiros , M. (2002)** . Experimental Results of a solar cooker with heat storage . R1002 – world climate & Energy Event January 6 – 11 .
- Singh , S. , Singh , P.P. & Dhaliwal , S.S. (2004)** . Multi-shelf portable solar dryer . Renewable energy 29 , pp. 753-765 .
- Soartechnik , M. (2000)** . Solar cook place manual . <http://www.Mueller-solartech-nik.com> .
- Sponheim,T.(2006)**.The easy lid cooker. <http://www.solar solution.infolmain.htm1>.
- Stores' Kalogirou (1997)** . Survey of solar desalination systems and system selections , energy 22: 1 , 69 – 81 .
- Tayeb , M. A. (1986)** . Modern solar grain dryer . Solar & Wind technology, Vol. 3, No. 3 , pp 211 – 214
- Tchienque, E. &Kaptouom, E. (1998)**. Inflounce of technological factors on the drying of vegetables using solar thermal engineering.
- Thomas , D. L. ; Guinn , G. R. & Thomason , B . O. (1990)** . Analysis of ventilated solar evaporator for can cent rating dilute hazardous waste . Solar energy 45 , 101 – 104 .
- Tiris , C. , Ozbalta , N. , Tiris , M. & Dincer , I. (1994)** . Experimental testing of a new solar dryer . International J. of energy research. Vol. 18 , pp. 483 – 491
- Tyroller , M. (2005)** . Solar steam sterilizer for rurals .
- Vanek , J. ; Green , M.M. & Vanek , S. (1996)** . A solar Ammonia Absorption Ice maker . Hom power 53 . June / July 1996 .
- Vaxman , M.& Sokolov , M. (1985)** . Analysis of a free flow solar collector. Solar Energy. Vol. 35 , No.3 .
- Velazquez , N & Best , R. (2002)** . Methodology for the energy analysis of An air cooled Gas absorption Heat pump operated by Natural gas and solar energy . Applied Thermal Engi . 22 : 1089 – 1103 .

- Velazquez,N.&Best,R.(2002).**Methodology for the energy analysis of an air cooled gas absorption heat pump oprated by natural gas and solar energy. Applied thermal engineering22:1089-1103.
- Venkatesh , A. & Mani , A. (1989) .** Comparison of performance of single stage and two stage Intermittent Ammonia – water solar Refrigeration systems , Technical note . solar and wind tech . 6 (1) : 75 – 78 .
- Vlachos , N.A. , Karapantsios , T.D. , Balauktsis , A.I. , & Chassapis , D.(2002) .** Drying technology. 20 (5) . pp. 1239-1267 .
- Whillier , A. (1976) .** Prediction of performance of solar collectors. In application of solar energy for heating and cooling of buildings . Ed. Jordan , R.C. & Liu , ASHRAE , GRP 170 .
- Wiem;en , E. et al. (2004) .**Design and planning support for solar Assisted air- conditioning Guidelines and Tools . Euro sun 2004, 14 .Internal sonnen forum , Freiburg , Germany , 03 – solar cooling : 2 – 129 – 139 , PSE. Gmblt
- Yak , A. K. (1996) .** The solar kettle – Thermos Flask : A cost effective , sustainable & renewable water pasteurization system for the developing world .
- Yark,A.(2006).**The solar kettle-thermose flask:Acost effective sustainable &renewable watwer pasteurization system for development world.
- Zaman , M.A. , Bala , B.Y. (1989) .** Thin Layer solar drying of rough rice . Solar Energy. Vol.42 , No. 2 , pp. 167-171 .

اسعد رحمن العلفي

المصادر.....

تم الكتابة بـمـعـالـه

رقم الارسال في دار الوثائق والكتب ببغداد ((1493)) لسنة 2010

نبذة عن المؤلف

*الاسم : د.اسعد رحمن سعيد الحلفي

*المواليد: 1970/3/1

*الجنسية: عراقي

*العنوان: قسم علوم الاغذية – كلية الزراعة – جامعة البصرة

*العنوان البريدي asaadrehman@yahoo.com

*حاصل على شهادة البكالوريوس في المكائن والالات الزراعية عام 1995.جامعة البصرة.

*حاصل على شهادة الماجستير في المحاصيل الحقلية عام 1999. جامعة البصرة

* حاصل على شهادة الدكتوراه في علوم الاغذية / هندسة معامل الاغذية عام 2006. جامعة البصرة

*المواد الدراسية التي درستها : احصاء ،اسس هندسة معامل الاغذية ، حاسبات (الاكسل) ، حاسبات (برنامج SPSS) ، هندسة معامل الاغذية ، تصميم وتحليل التجارب الزراعية. هندسة معامل اغذية متقدم. مشكلة خاصة. اشراف تربوي

*حاصل على 14 كتاب شكر ، 3 من وزير التعليم العالي والبحث العلمي و4 من رئاسة جامعة البصرة و 6 من عمادة كلية الزراعة و 1 من عمادة كلية الطب البيطري

*لدي 19 بحث علمي منشور في مجلات علمية .

* حصلت على 3 براءات اختراع من الجهاز المركزي للتقنيات والسيطرة النوعية / بغداد ،العراق

* اشرف على عدة رسائل ماجستير.

*عضو المكتب الاستشاري الزراعي عام 2002.

ابحاثي موجودة على الموقع الالكتروني التالي:

<http://www.4shared.com/account/dir/SZyzQJQ6/sharing.html>