

الفصل الثامن

إنتاج الماء المقطر بالطاقة الشمسية Solar Stills

تستعمل الطاقة الشمسية في إنتاج الماء المقطر عن طريق المقطرات الشمسية التي هي عبارة عن حوض ذو قاعدة سوداء اللون و سطح زجاجي مائل بزاوية ويتكثف على سطحه الداخلي بخار الماء الناتج من تسخين قاعدة الحوض . ان كلفة هذه المقطرات عالية ويستفاد منها بالاضافة 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* لإنتاج الماء المقطر في القرن السادس عشر . صنع اول جهاز لإنتاج الماء المقطر عام 1742م بواسطة *Necolo Glaezzi* الايطالي الا انه لم يكن معروفا كمفهوم او كبناء.

ان اول مقطر شمسي حديث صنع في *Las Salinas* و *Chile* في عام 1827 بواسطة *Charles Welson* يتكون من 64 حوض للماء (المجموع الكلي 4459 م²) مصنوع من الخشب الاسود مزود باغطية مائلة . وهذا المقطر يجهز 20000 لتر باليوم واستمر العمل على هذه المقطرات من عام 1912 ولغاية عام 1940م.

خلال عام 1950 انتعشت الفائدة من التقطير بالطاقة الشمسية وكان الهدف منه لتطوير وحدات تقطير الماء ذات مركبات كبيرة *large centralized* . كما ان الهدف منها في كاليفورنيا هو لتطوير وحدات لها القدرة على انتاج مليون غالون او 3775 م³ 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 لإنتاج الماء المقطر في دول عديدة تتراوح سعتها من مئات قليلة الى حوالي 30000 لتر من الماء يوميا.

النظرية العامة لتقطير الماء بالطاقة الشمسية

تتم عمليات التقطير بوساطة هروب جزيئات الماء وانتقالها من سطح الماء الى الاعلى بشكل غازات والحرارة المحسوسة يمكن قياسها بوساطة الترموميتر وهي ناتجة عن حركة الجزيئات بشكل متعرج دائما ، ماعدا تلك التي لا تتحرك عند نفس السرعة ، وان اضافة طاقة اليها يعجل 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 اكثر من تلك المستخدمة لتبخير الماء من 100 درجة مئوية الى بخار بدرجة حرارة 100 درجة مئوية وهذه العملية عكسية في حالة التكثيف .

ان الاملاح والمعادن لا تتبخر مع بخار الماء لانها تحتاج الى درجات حرارة تصل الى 1400 درجة مئوية حتى تتبخر معه الا انها تبقى بهيئة محلول ملحي بعد تبخر الماء منه. لا يحصل غليان للماء عندما يتبخر بالطاقة الشمسية وهو اكثر نقاوة لانه عند الغليان تتكسر الفقاعات وتلوث الماء الناتج بقطرات صغيرة جدا من الماء السائل.

تتم عملية تقطير الماء بالطاقة الشمسية بوساطة نفوذ الطاقة الشمسية خلال الغطاء الزجاجي وتقوم بتسخين الماء المالح *brine* او ماء البحر الموجود في حوض معين مما تؤدي الى تبخر الماء ويرتفع البخار ويتكثف على الجدار الداخلي للزجاج ويتحرك باتجاه الاسفل ويتجمع في وعاء يسمى *trough*.

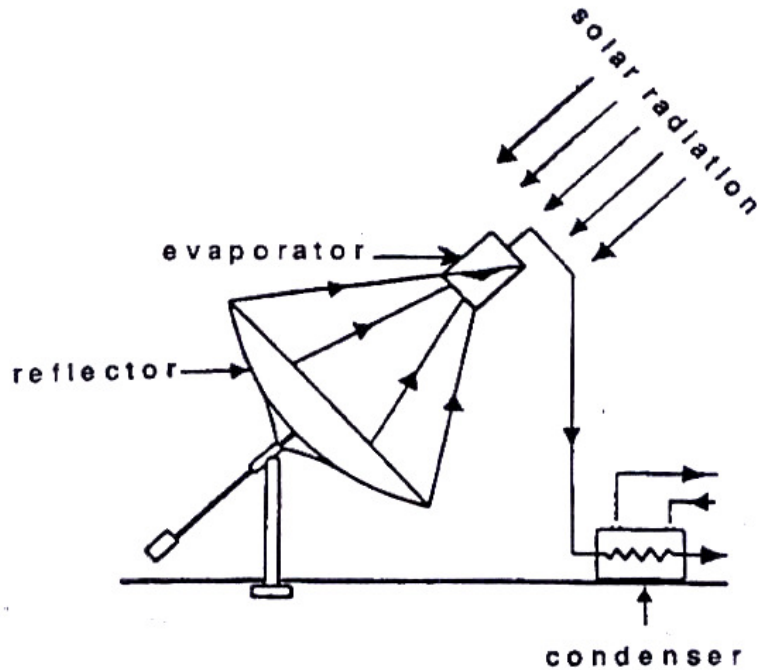
أشعة الطاقة الشمسية هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية صغيرة تمر خلال سطح شفاف نظيف كالزجاج وتسقط على سطح داكن بشدة ، وهنا يتغير الطول الموجي لهذه الاشعة فتصبح موجات حرارية طويلة وتضاف الى الماء الموجود في حوض ضحل اسفل الزجاج مما يؤدي الى تسخين الماء وتبخيره. البخار الساخن يرتفع الى المساحة السطحية الباردة ولهذا فان كل المواد غير المرغوب بها ستبقى في الحوض. البخار يتكثف 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 30-45 % . اما الكفاءة القصوى فتصل الى اكثر من 60 % وتحسب الكفاءة كالاتي:
الكفاءة % = الطاقة المطلوبة لتبخير 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 كالمراة من بؤرة الأشعة الشمسية على وعاء التبخير المغلق وتؤدي الى رفع درجة حرارة الماء الموجود بداخله بصورة كبيرة مما يؤدي الى تبخر الماء ثم ينقل البخار الى غرفة منفصلة لغرض تكثيفه ثم يخزن بعد ذلك ، كما في شكل (8-1).



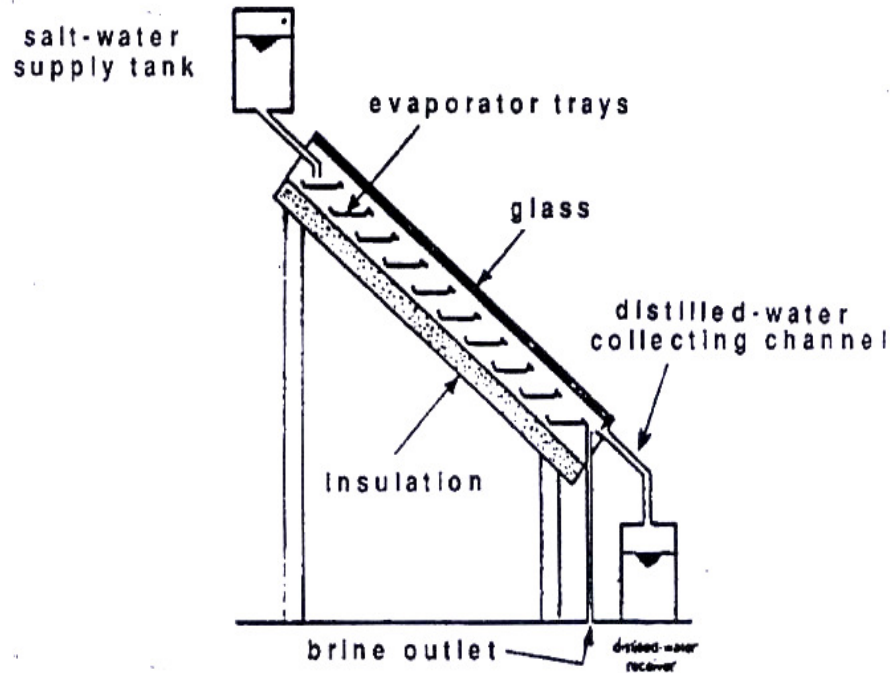
شكل (8-1): جهاز التقطير الشمسي ذو المجمع المركز.

(Leekie et al.,1981)

2- جهاز التقطير الشمسي المائل المتعدد الرفوف *Multiple Tray Tilted 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 يتكثف على السطح الداخلي للزجاج ويجري باتجاه الاسفل الى ان يتجمع في قناة للخرن النهائي.

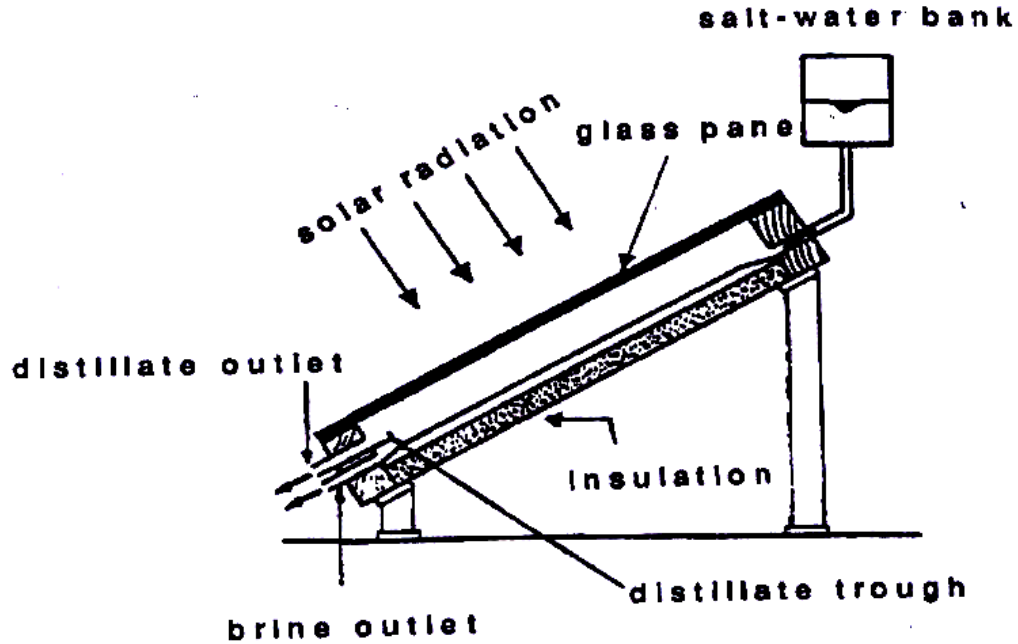
يستخدم هذا النوع من اجهزة التقطير في المناطق ذات خطوط العرض الكبيرة ، بسبب ان الوحدات الكاملة يمكن ان تكون مائلة لتسمح اشعة الشمس تسقط بصورة عمودية على سطح الزجاج. ان ميزة الميل يجعل تاثير التغيير في موقع الشمس على المقطر قليل الاهمية عندما يكون الموقع بالقرب من خط الاستواء وان الكفاءة المقاسة كانت فوق 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 (8-2).



شكل (8-2): جهاز التقطير الشمسي المائل المتعدد الرفوف. (Leekie et al.,1981)

3- جهاز التقطير الشمسي المائل ذو الفتيلة *Tilted Wick Solar Still*

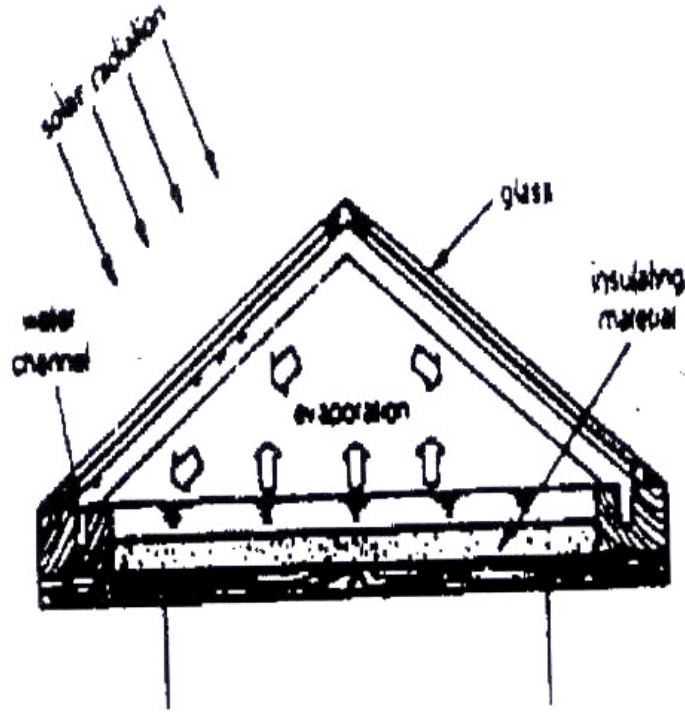
في هذا الجهاز يسحب الماء من اناء يحتوي على الياف من الاعلى وبفعل الخاصية الشعرية للالياف يتوزع الماء فوق السطح الداخلي من الفتيلة يشكل طبقة رقيقة ويتعرض الماء الى اشعة الشمس. هذا التصميم يسمح لان تكون درجة حرارة طبقة الماء الرقيقة عالية بحيث تكون اعلى مما لو كان فقط ماء ، وهذا التصميم كفوء لتصميم الاطباق المائلة ولكن استعماله محدود بسبب التكاليف العالية ويحتاج الى التنظيف المستمر للفتيلة من الترسبات ، كما انه يحتاج الى استبدال الفتيلة السوداء في الاحواض المستطيلة نتيجة لتبيضه بسبب الشمس والتلف الفيزيائي بواسطة الاشعة فوق البنفسجية ، وعدم ترطيب الفتيلة سوف ينتج بقع جافة تؤدي الى خفض الكفاءة.



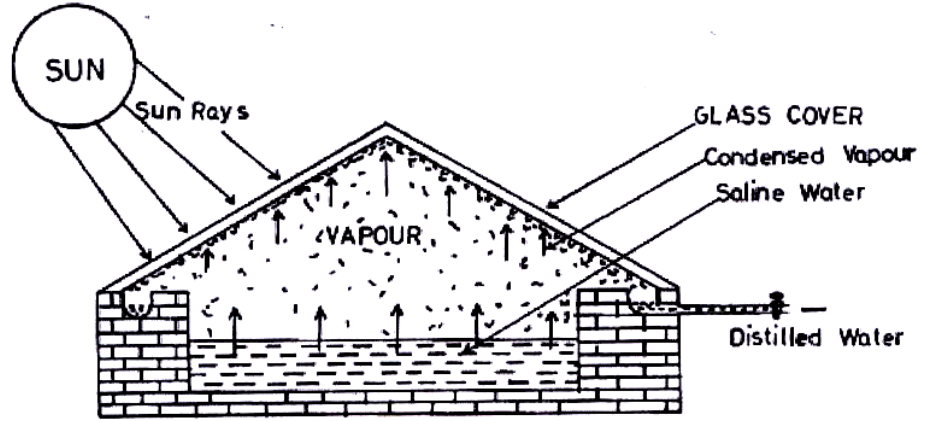
شكل (3-8): جهاز التقطير الشمسي المائل ذو الفتيلة
(Leekie et al., 1981)

جهاز التقطير الحوضي *Basin Still*

وهو من الاجهزة 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.



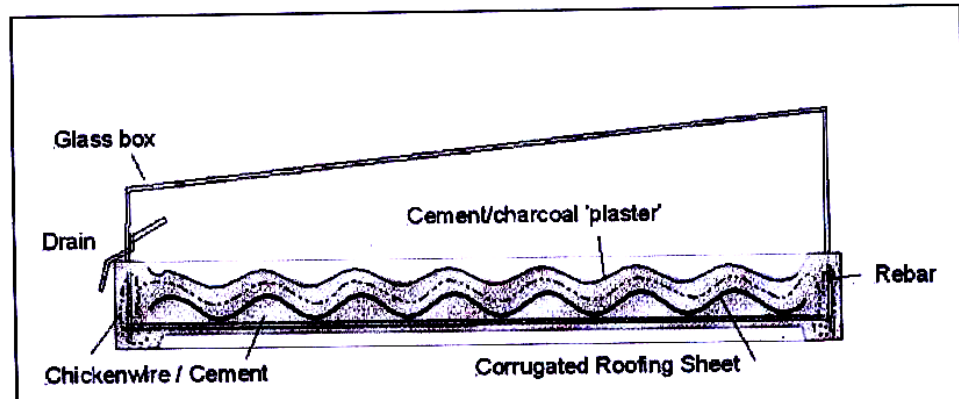
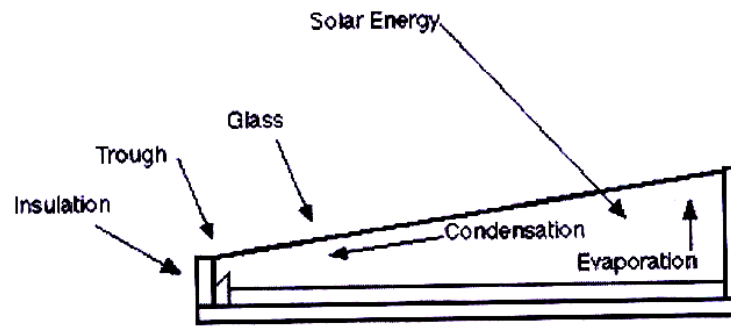
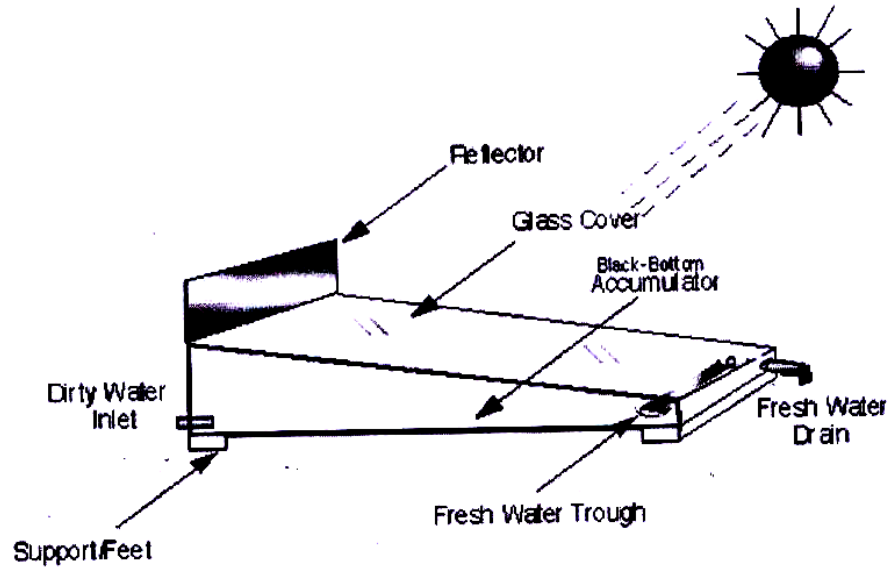
شكل (4-8): جهاز التقطير الشمسي الحوضي.
(Leekie et al.,1981)



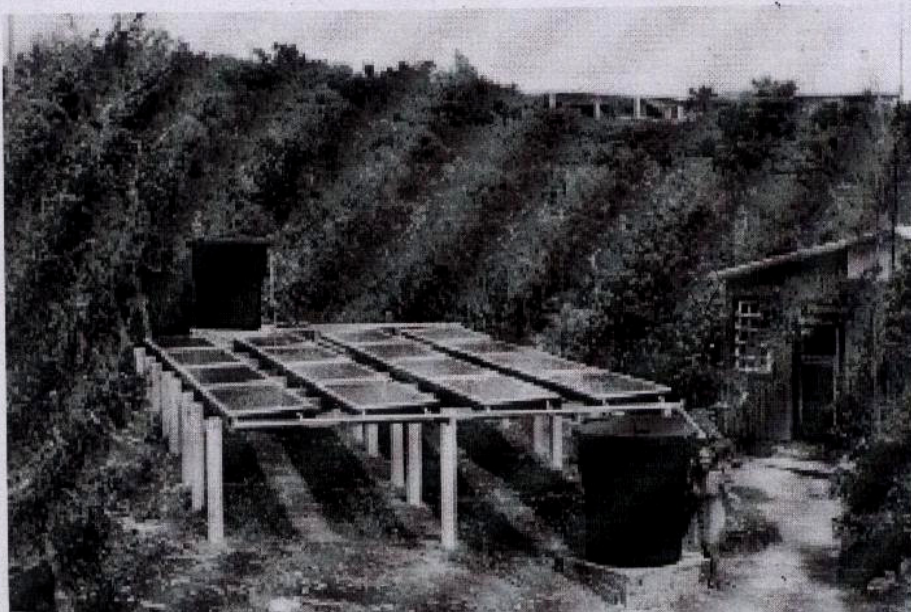
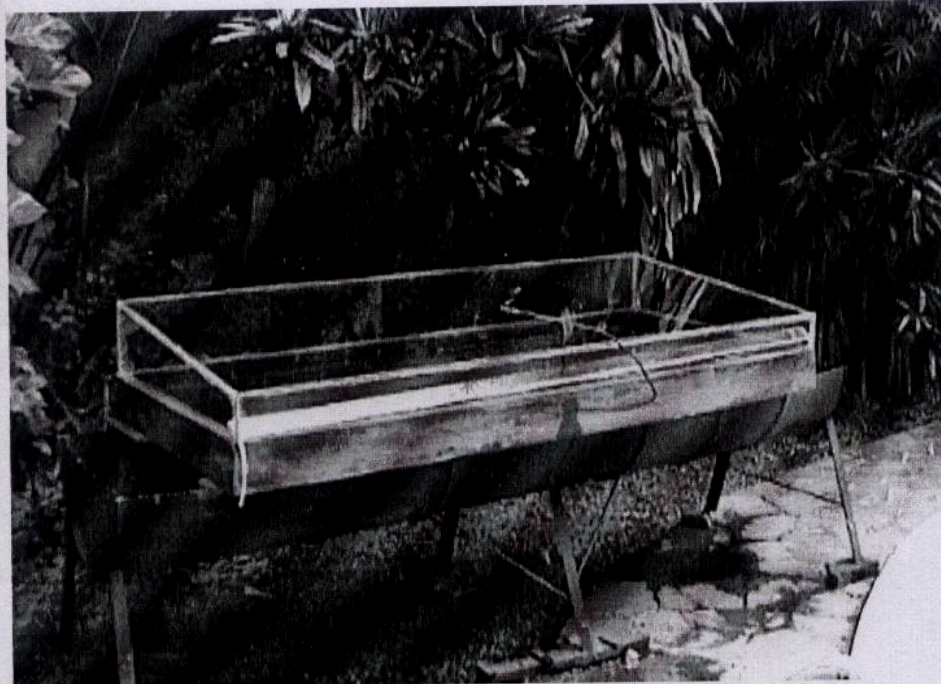
شكل (8-5): جهاز التقطير الشمسي الحوضي.



شكل (8-6): صورة لجهاز التقطير الشمسي الحوضي.



شكل (8-7): 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* و *appliance* تستعمل زجاج ابعاده حوالي 0.65 - 0.9 م العرض ، والطول يتراوح بين 2-3 م وعمق الماء 1.5 2.5 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 العميقة بلغت 43 %. اما اذا كان الحوض ضحل فانه سوف يجف وتترسب الاملاح فيه وهي غير جيدة.

من الملاحظ ان الطاقة الحرارية الشمسية يمكن ان تبخر 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 اعاد مليء المقطر بالماء.

متطلبات مواد المقطرات الشمسية الحوضية

اختيار المواد لتصنيع المقطرات التي تكون بتماس 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 الPVC وانبوب من البولي اثيلين والواح الفايبيركلاس.

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 تحتفظ بشكلها 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 التآكل *anti-corrosive* لتغطية المعادن التي تميل الى التآكل لحل مشاكل التآكل التي تحدث عند خط الماء والذي يؤدي الى فصل الحوض المصنوع من المعدن. الاحواض المصنوعة من النحاس تتعرض للتآكل عند استعمالها لسنوات قليلة وكذلك المصنوعة من الحديد المغلون *galvanized steel* والالمنيوم غير المغلون فانه يتآكل 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 المطلّي بالخزف *porcelain-coated steel* يمكن ان يقاوم التآكل 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 طويل بسبب التشققات التي تحدث به وغالبا بعد سنة ، والكونكريت يمتص الماء ولايخرجه لكنه ينقع ، واذا كان الماء ملحي فانه يؤدي الى تلف البناء الكونكريتي .

البلاستيك يحدث فيه عفن *mold* ماعدا الزجاج والبلاستيك المغطى بالزجاج والستايرفوم *Styrofoam* تكون سهلة ورخيصة ولكنه يذوب عند حوالي 70 درجة

مؤوية. رغوة *urethane* تآثرها اقل وأن ابعادها تتغير، وكفاءة المقطرات المصنعة منها تتأثر لان نسبة كبيرة منه لا تتربط ولا تنتقل بالتوصيل الى الحجم غير المرطب بشكل جيد.

الفايبركلاس لا يمكن 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 بمواد اخرى تمنع اتصالها بالماء فان الرائحة ستنتقل الى المواد المغطية ومنها الى الماء. الالمنيوم المغلف بالسيليكون المطاطي له متانة كبيرة يمكن ان تبقى لمدة 10 - 15 سنة ، ان مئات الشركات المصنعة للمقطرات الشمسية تستخدم هذه المادة في التصنيع وان عملية التغطية تتم يدويا بواسطة رولة خاصة. بالرغم من استعمال الحديد المقاوم للصدأ الا ان نجاحه في هذا المضمار ضعيف.

Support Structure الهيكل الساند

ويشمل جوانب المقطر بالاضافة الى الحوض ومساند الغطاء الزجاجي وهذه المساند يجب ان تكون منفصلة . الاختيار الاول لبناء المساند هو الخشب ، المعدن ، الكونكريت ، البلاستيك ، . اختيار نوع المسند يعتمد اولا على توفر المادة محليا ، كما ان هيكل او اطار الزجاج يجب ان يكون حجمه صغير لكي لايسبب ظل على الزجاج. الخشب يحصل فيه انحناء وتشقق وتعفن ومهاجمة الارضة لذا يجب اختيار خشب ذو نوعية جيدة مثل الصنوبر *cypress* بحيث يقلل المشاكل التي تم ذكرها. المعدن يمكن ان يستخدم كمسند ولكنه يحصل فيه تآكل ولايحصل فيه انحناء ويبقى مستقيم ولكن يحصل فيه تمدد ويجب ان يؤخذ ذلك بنظر الاعتبار.

في الغالب يصنع الهيكل من الالمنيوم والحديد المغلون. السليكون المطاط لايلتصق 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 والحرارة 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 تحطمه 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 وقطرات الامطار المتجمدة وحركات الارض الصغيرة ويمنع دخول الحشرات والحيوانات.

عملية الترطيب تسمح للبخار ان يتكثف بداخل الغطاء الزجاجي على شكل لوح متكامل من الماء بدلا من القطرات. اذا كان الماء على شكل قطرات فانه يخفض اداء المجمع الشمسي للأسباب التالية:

1-القطرات سوف تقلل من كمية الماء الداخلة الى المقطر بسبب انها تقيد دخول الضوء الى داخله وتعمل كالمرآة 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 لغرض تجميعه والاستفادة منه.

هنالك عوامل تحدد مادة اللوح الزجاجي تتضمن تكاليف المادة والوزن والعمر المتوقع لها ومدى توفرها محليا واقصى درجة حرارة تسمح بها ومقاومة الصدمة وقابليتها على نفاذ الطاقة الشمسية والاشعة تحت الحمراء. ان زجاج الشبائيك هو الافضل ماعدا ذلك الذي يحتوي على فلم زيتي 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 لتجميع الماء المتكثف ونقله الى الخزان وهذا يجب ان يكون صغيرا لكي لايسبب ظل على الحوض ، وهو يجب ان يصنع من مواد صحية وهي يمكن ان تكون من نفس المواد المصنع منها الحوض ، ويستخدم الحديد المقاوم للصدأ مثل نوع 316 وهو جيد.

هنالك معادن اخرى مغطاة او محمية لمنع التآكل ، مثلا الالمنيوم يتعرض لتآكل مع الماء المقطر ولكنه يعتبر الافضل عندما يطلى بالساليكون المطاطي. وكذلك الحديد المغلون لايقى سوى عدة سنوات على الاكثر. النحاس والبراص بسبب مخاطرها على الصحة فانهما يستبعدان . الحديد المطلي بالخزف اختياريه ضعيف لانه ينحل بصورة بطيئة ويسمح للحديد بالصدأ.

احيانا يصنع حوض تجميع الماء المقطر من مادة *butyl rubber* لانه غالي الثمن. استعمال البولي اثيلين يجعله يتحطم ويبعث رائحة وطعم غير مرغوبين. استعمال *PVC* بتوين شق طويل منه الا انه يتحطم داخل المقطر ويبعث غاز غير مرغوب فيه وتكون هشّة بسبب تعرضها لاشعة 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 والحشوات والانابيب والصمامات والمثبتات والمضخات وخزان المياه.

1- العازل

يستخدم لاعاقبة 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 المواقع الغنية بالاشعاع 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-الحشوات *sealants*

بالرغم من انها ليست من المكونات الاساسية الا انها مهمة في تشغيله بكفاءة ، وتستخدم لسد الفتحات الموجودة في جهاز التقطير. تتميز الحشوات المستعملة في المقطرات الشمسية عن تلك المستخدمة في عملية تسخين المياه. الحشوة 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 الحشوات المستعملة

1- معجون تثبيت الزجاج (لسد الشقوق بين الالواح) وزيت بذور الكتان.

2- مركب الاسفلت.

3- البلاستيك المغطى بالقطران.

4- المعجون الاسود.

هنالك انواع مختلفة من الحشوات لسد الشقوق بين الالواح هي *Acrylic Ltex* و *Latex* و *Butyl Rubber* و *Polyethylene* و *Synthetic Rubber* و *Polyurethane* و *Silicon* و *Urethane Foam* هذه الانواع مكلفة الا ان مدة تاكلها طويلة. ان *Molded silicon* او *EPDM* مواد ماسكة وهي جيدة اما السليكون المطاط من الحشوات الجيدة والمستخدمة كثيرا الا انه يتعرض للكسر ويفشل في عملية الغلق بعد 5 - 15 سنة من تعرضه الى اشعة الشمس. ان تغطية

الحشوة بشريط معدني يطيل من عمرها اما معجون الشبابتك لايضمن استعماله في المقطرات الشمسية بسبب الرطوبة والحرارة المرتفعة في الانابيب.

الانابيب Piping

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 انابيب البزل. اما الانبوب من النايلون *nylon tubing* ينكسر اذا تعرض الى اشعة الشمس لمدة 5-15 سنة. ال *PVC* بالرغم من انه في الاسابيع الاولى من استخدامه جيد الا انه بعد ذلك يبعث غاز ويعطي طعم رديء بينما ال *ordinary clear vinyl tubing* فهو غير مرغوب فيه بسبب تحطمه عند التعرض الى اشعة الشمس. البلاستيك المملوء بالماء عندما يتعرض الى اشعة الشمس فان جزء منه يتحطم ويعطي طعم رديء للماء. البراص والحديد المغلون والنحاس يستخدم في نظام التغذية الا انه لا يستخدم في نظام الماء الناتج (المقطر).

تتم 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 الحيلة وملاحظة الاتي:

- 1- الماء المقطر مهاجم كيميائي ويقوم بحل أي شي 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 Rubber* يستخدم لصناعة هيكل الخزان اما في حالة استخدام الحديد

المغلون فانه يستعمل لسنوات قليلة وبعدها يقوم باضافة الزنك والحديد للماء. عند استخدام الكونكريت فانه يتعرض للتفتيت 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 والبكتريا 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 وتفتح الفتحة دائما باتجاه الاسفل لمنع دخول ماء المطر ، واذا اهملت هذه العملية فان الحشرات ستدخل الى الخزان ويتكون سائل جرثومي.

المقطر الشمسي المتعدد المراحل *Multistage Solar Still*

اجهزة التقطير البسيطة التي تكون على شكل بيت زجاجي يبلغ انتاجها اليومي حوالي 4 لترام² ، 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.

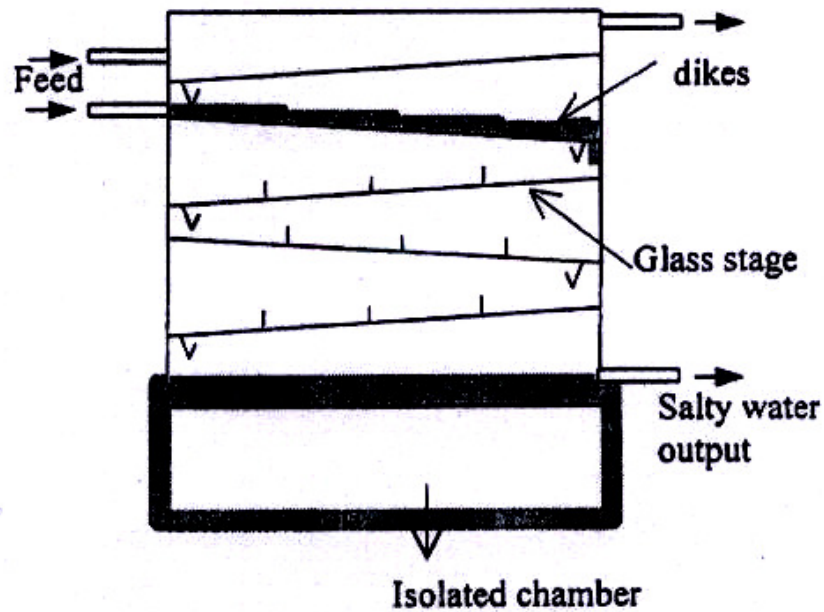
يدخل الماء الى الجهاز من الاعلى فيتحرك على سطح الصفيحة ويسقط بفعل الجاذبية من الصفيحة العليا الى الصفيحة التي اسفلها الى ان يصل الى الموقع السفلي من الجهاز. الماء يسخن في الطبق وينتج بخار ويتكثف على اسفل الصفيحة التي هي فوق الصفيحة التي تبخر الماء منها التي تبرد بوساطة الماء النازل عليها من الاعلى وهذه 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

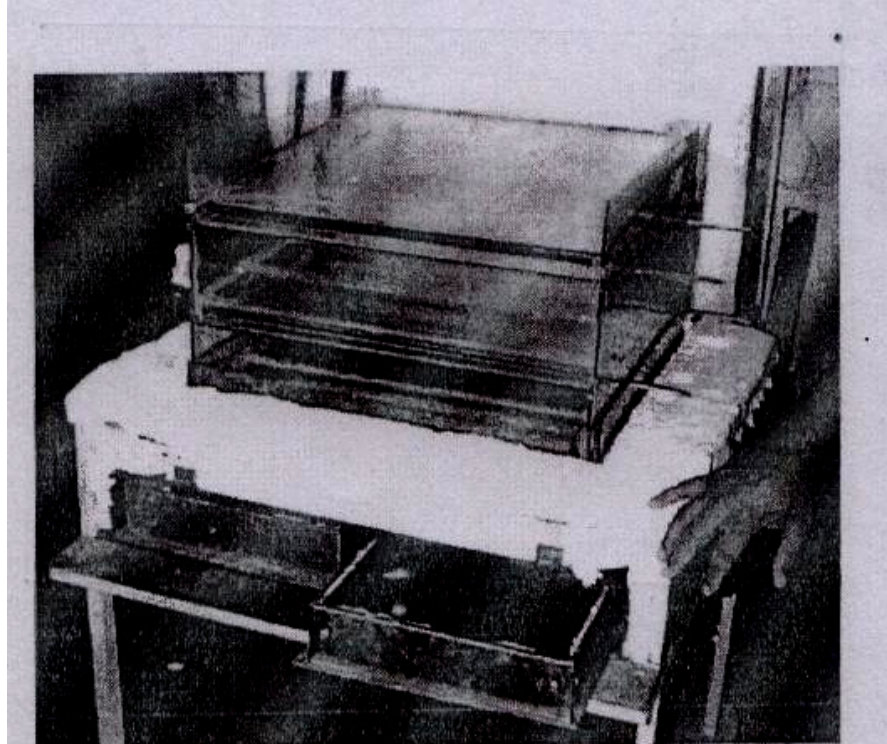
درجة حيث يتكون فلم مائي على سطح التكثيف بعد تنظيف الزجاج بالامونيا وكان ارتفاع كل قناة 1 سم ويعمق 0.5 سم.

يتكون هيكل المقطر الشمسي المتعدد المراحل المطور من صندوق ابعاده 50 * 50 سم ، مصنع 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 (8-10). الماء المالح يدخل الى المقطر الشمسي من الاعلى ويسقط من مرحلة الى مرحلة اخرى باتجاه الاسفل عن طريق الجاذبية حتى يصل الى الطبقة الاخير. الطبقة الاخير السفلي يسخن من الاسفل مع اربعة قطع مسطحة من الالمنيوم موضوعة في غرفة معزولة ابعاد كل واحدة منها 27.5 * 27.5 * 2 سم³.

انتاجية هذا الجهاز عالية اذا كانت درجة حرارة الطبقة الاخير اعلى من الاطباق الزجاجية العليا التي تمثل المراحل. درجة الحرارة النموذجية هي 90 درجة مئوية.



شكل (8-9) : المقطر الشمسي المتعدد المراحل



شكل (9-8) : صورة فوتوغرافية للمقطر الشمسي المتعدد المراحل
(Franco et al.,2000)

اداء المقطر الشمسي

درجة الحرارة

يوضح الشكل (8-10) 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 الطباق 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 لتبخير الماء المقطر والطاقة المستهلكة لذلك والمحسوبة من النتائج التجريبية وتكتب كالاتي:
يلاحظ من الشكل (8-12) ان نسبة الاداء للمقطر الشمسي المتعدد المراحل الذي يحتوي على اربعة 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

$$Q_{distillation} = m_d \lambda \dots\dots\dots(8-2)$$

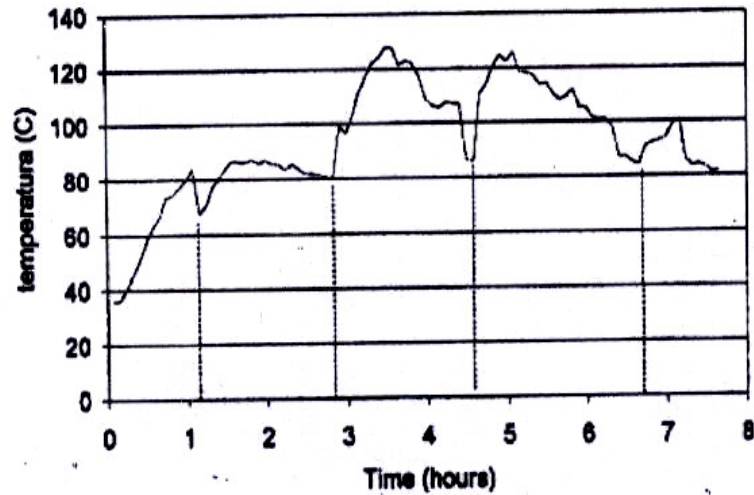
m_d : كتلة الماء المقطر .

λ : الحرارة الكامنة لتبخر الماء وتساوي 2.4 (ميكا جول/كغم)

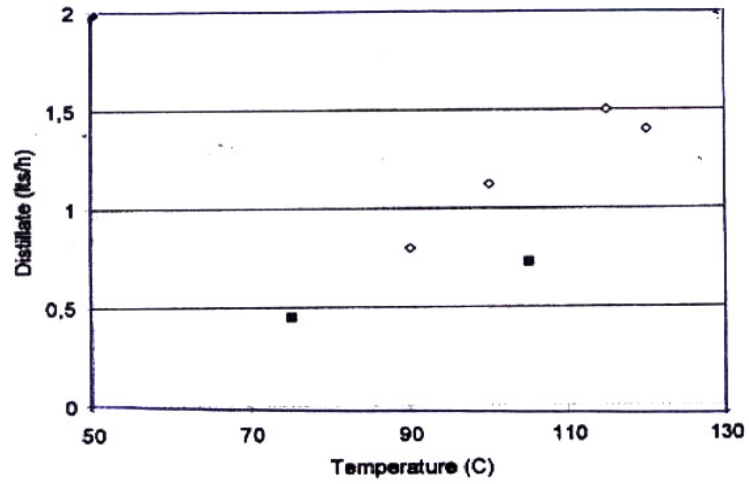
$$Q_{slab} = m C_{ps} (T_{final} - T_{initial}) \dots\dots\dots(8-3)$$

m : الكتلة (كغم)

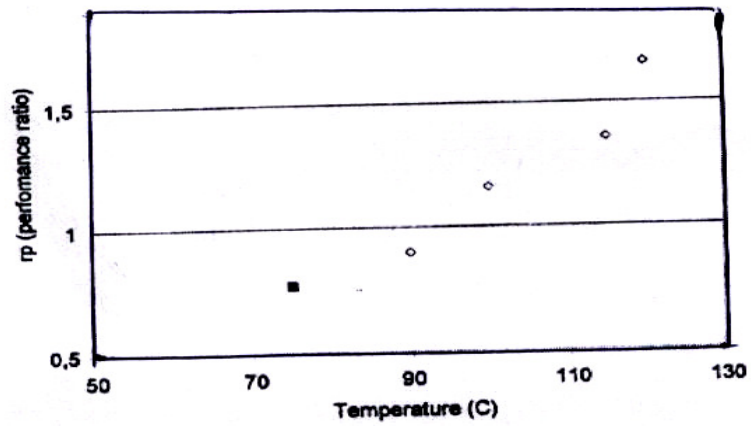
C_{ps} : الحرارة النوعية للماء (كج/كغم.كلفن)



شكل (8-10) : تغير درجة حرارة اطباق المقطر الشمسي المتعدد المراحل. (Franco et al.,2000)

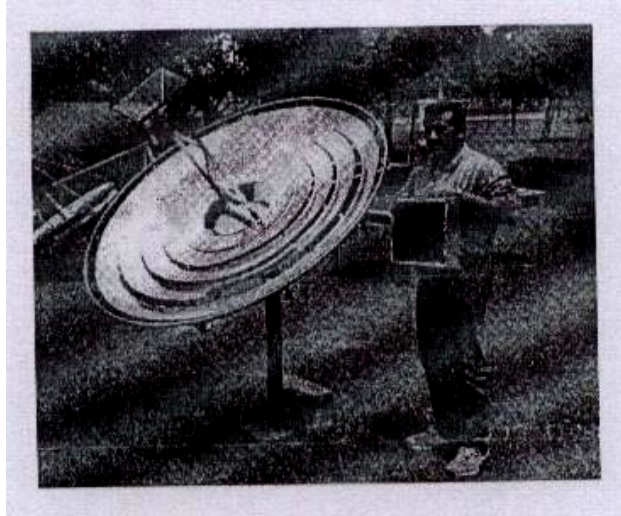


شكل (8-11) : انتاجية المقطر الشمسي المتعدد المراحل. (Franco *et al.*, 2000).



شكل (8-12) : نسبة الأداء للمقطر الشمسي المتعدد المراحل.

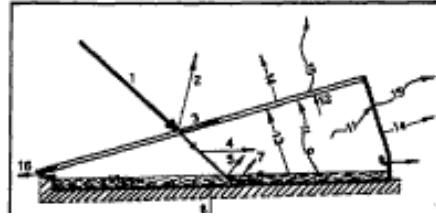
هنالك نوع آخر من المقطرات الشمسية هو المقطر الشمسي المركز ما يسمى بمركز نوع فرنسل *Frensel Type Concentrator* شكل (8-11) حيث يكون المجمع مفصول عن المقطر والحرارة تنتقل من وحدة الى اخرى باستخدام 4 كغم من قطعة مسطحة من الالمنيوم التي تكون موضوعة في الجزء الممتص وتسخن بحيث تصل درجة حرارتها الى 350 درجة مئوية ، هذه القطعة توضع في صندوق معزول تحت الطبق واستخدمت اربع قطع وهي متغيرة دوريا . يمكن ان تستخدم عدة قطع ل تخزين الحرارة اذا كان هنالك 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 ياخذ بنظر الاعتبار خطوط العرض للمنطقة التي يعمل بها إذ أنها تحدد زاوية ميله حتى يكون مواجه 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 ووضعت فراغ بين كل مخروط وآخر لمقاومة الرياح الشديدة.



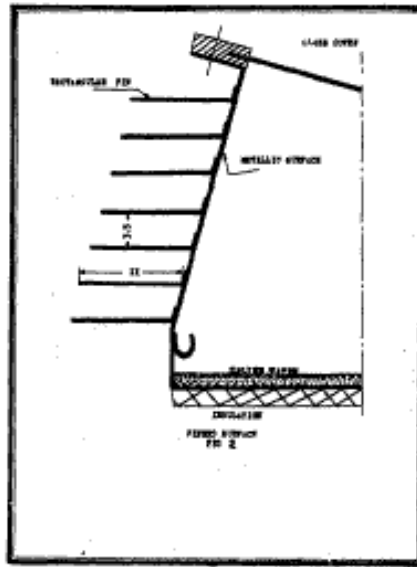
شكل (8-13) : مقطر شمسي نوع فرنسل.

هنالك 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 ويشكل مائل بزاوية 75 درجة الى الداخل بحيث يمنع من سقوط الاشعاع الشمسي عليه واضيفت الى هذا الجزء زعانف عددها سبعة وبسمك 1.75 ملم وعرض 11 سم وطول 100سم ، لغرض زيادة معدل التبريد وهذا يؤدي الى زيادة انتاجية الماء المقطر . طليت هذه الزعانف بطلاء اسود اللون لزيادة انبعاثيتها .

هذا المقطر هو من نوع البيت الزجاجي وقد صنع من صفيحة حديدية سمكها 0.8 ملم ومساحة التبخير الصافية من المبخر هي 0.93 م² . ارضية الحوض ذات لون اسود بينما الجوانب طليت باللون الابيض . وهنا اصبح سطح التكثيف يشمل الزجاج والمعدن ، الزجاج مائل بزاوية 15 درجة مع الافق والزواية العليا من الغطاء كانت 90 درجة. وضعت قنوات تجميع الماء المقطر في اللوح المعدني والزجاجي زمنها ينقل الماء الى فتحة الخروج. تم عزل الحوض من الاسفل والجوانب لتجنب فقدان الحرارة.



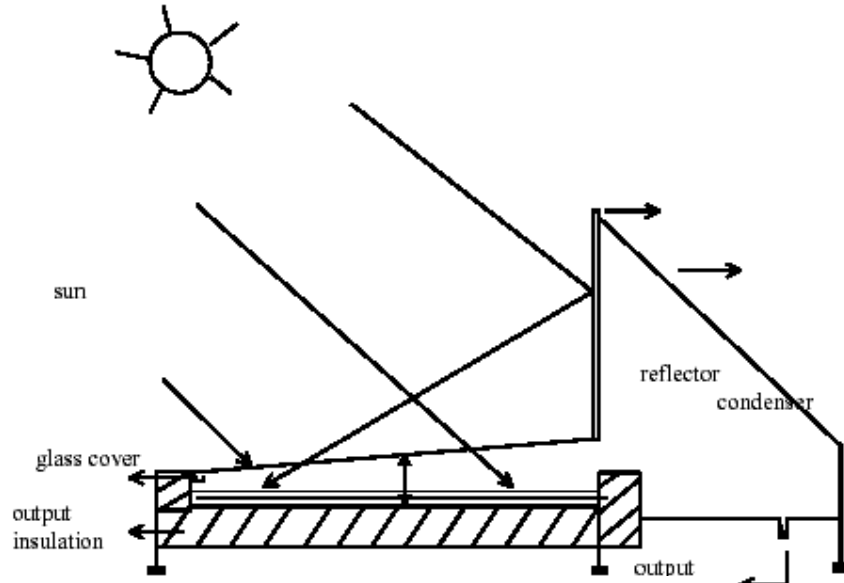
1- الاشعاع الشمسي 2-اشعاع شمسي منعكس 3-شعاع شمسي ممتص من قبل الزجاج 4-شعاع ممتص بواسطة بخار الماء المقطر 5-شعاع منعكس من سطح الماء 6-شعاع ممتص بواسطة الماء المقطر 7-شعاع منعكس من اسفل المقطر 8-انتقال الحرارة من اسفل المقطر الى الجو 9-طاقة ممتصة بواسطة الحوض 10- انتقال الحرارة بالحمل الى الماء الملحي 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 للتكثيف



شكل (8-14):مقطر شمسي مزود بزعانف.

هنالك 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 م² 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 بصندوق خشبي . اضيف الى

المقتر عاكس مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ لزيادة تاثير الاشعاع 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 وافترض ان الخواص الفيزيائية للماء وبخاره لا تتغير مع درجة الحرارة وكذلك ان النظام في الحالة الشبه مستقرة . ولا يوجد هنالك ماء اوبخار ماء متسرب . والسعة 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 التقطير يمكن ان تكتب كالاتي:

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 والتبخر 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 الى الجو
(واط/م².°م).

T_a : درجة حرارة الهواء (°م).

للمكثف

$$h'_1 = (T_w - T_{co}) = h'_2 (T_{co} - T_a) \dots \dots \dots (8-5)$$

h'_1 :معامل انتقال الحرارة بالتبخير والحمل من سطح الماء الى المكثف(واط/م².°م).

T_{co} : درجة حرارة المكثف (°م).

h'_2 : معامل انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من سطح المكثف الى الجو
(واط/م².°م).

لكتلة الماء

$$\tau_g \alpha_w I_T + h_3 (T_b - T_w) = M_w \frac{dT_w}{dt} + h_1 (T_w - T_g) + h'_1 (T_w - T_{co}) \dots \dots \dots (8-6)$$

τ_g : انبعاثية الزجاج.

α_w : امتصاصية الماء.

I_T : شدة الاشعاع الشمسي (واط/م²).

h_3 :معامل انتقال الحرارة من صفيحة القاعدة الى الماء (واط/م².°م).

T_b : درجة حرارة المحلول الملحي (°م).

M_w :السعة الحرارية للماء (جول/كلفن).

للحوض

$$\tau_g \tau_w I_T = h_3 (T_b - T_w) + h_4 (T_b - T_a) \dots \dots \dots (8-7)$$

τ_w : انبعاثية الماء.

من المعادلات من (8-4) - (8-7) يمكن ان نجد المعادلة (8-8)

$$\frac{dT_w}{dt} + C_1 = \tau_g \alpha_w I_T + (\tau_g \tau_w h_3 I_T) / (h_3 + h_4) + C_1 T_a \dots \dots \dots (8-8)$$

h_4 : معامل انتقال الحرارة من صفيحة القاعدة الى الجو (واط/م².°م).

المعادلة (8-8) يمكن حلها لتعطي المعادلة (8-9)

$$\frac{dT_w}{dt} + C_1 + f_1(I_T, T_a) \dots \dots \dots (8-9)$$

حيث

$$C_1 = \left(\frac{h_1 h_2}{h_1 + h_2} + \frac{h'_1 h'_2}{h'_1 + h'_2} + \frac{h_3 h_4}{h_3 + h_4} \right) / M_w \dots \dots \dots (8-10)$$

و

$$f_1 = [\tau_g \alpha_w I_T + (\tau_g \tau_w h_3 I_T) / (h_3 + h_4) + C_1 T_a] / M_w \dots \dots \dots (8-11)$$

يمكن حل المعادلة (8-9) لإيجاد درجة حرارة الماء T_w :

$$T_w = (1 - e^{-C_1}) + T_{wo} e^{-C_1} \dots \dots \dots (8-12)$$

T_{wo} هي درجة حرارة الماء الأولية عند الزمن صفر

كمية ماء التقطير خلال ساعة W_d يمكن ان يعطى بالمعادلة الآتية:

$$W_d = \frac{h_{eg}(T_w - T_g) + h_{eco}(T_w - T_{co})}{\lambda} \times 3600 \dots \dots \dots (8-13)$$

λ : الحرارة الكامنة لتبخير الماء

عند تكامل المعادلة (8-13) فانها تعطي المنتج الكلي من الماء المقطر خلال اليوم.

يوضح الشكل (8-16) ان كمية الماء المقطر تزداد مع زيادة الزمن وتصل الى اقصى قيمة لها عند الساعة 14 والتكثيف يستمر حتى عند غروب الشمس نتيجة السعة الحرارية للمحلول الملحي . درجة حرارة الغطاء الزجاجي كانت منخفضة في بداية العمل بحيث تسمح لأكبر كمية من البخار بالتكثف على سطحه الداخلي ، بينما بعد منتصف النهار يستمر التكثيف تقريبا بالكمية نفسها حتى بعد الغروب. بلغ حاصل الماء المتجمع خلال ساعة في الغطاء الزجاجي والمكثف معا 6.52 لتر / م² يوم في الصيف.

درجة حرارة حوض الماء والغطاء الزجاجي والمكثف والجو خلال الزمن مبينة في شكل (8-17) . فيلاحظ ان هنالك اختلاف قليل بين درجة حرارة الماء الملحي والغطاء الزجاجي.

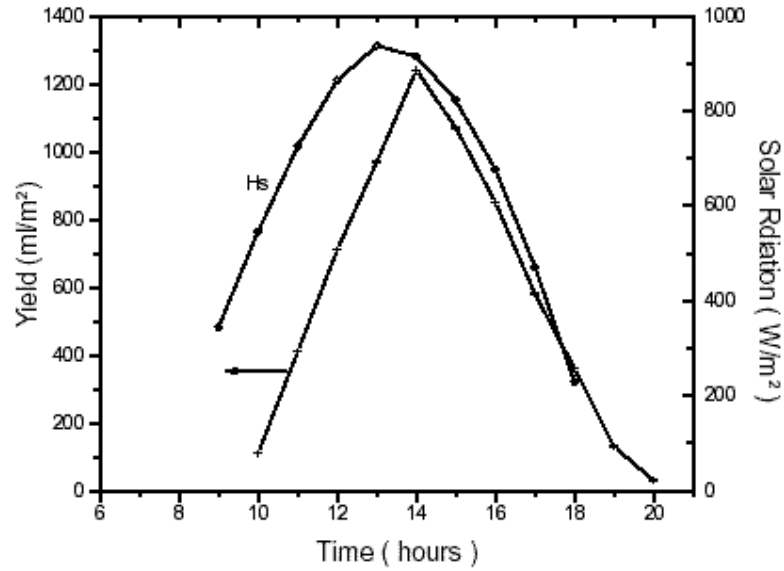
الكفاءة تعتمد على شدة الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الجو وعمق العازل وسرعة الرياح . الكفاء تزداد مع زيادة درجة حرارة الجو بمدى من 65% الى اكثر

من 75% شكل (8-18). ويلاحظ ايضا ان نفس قيم الكفاءة لنفس درجة الحرارة في الجو .

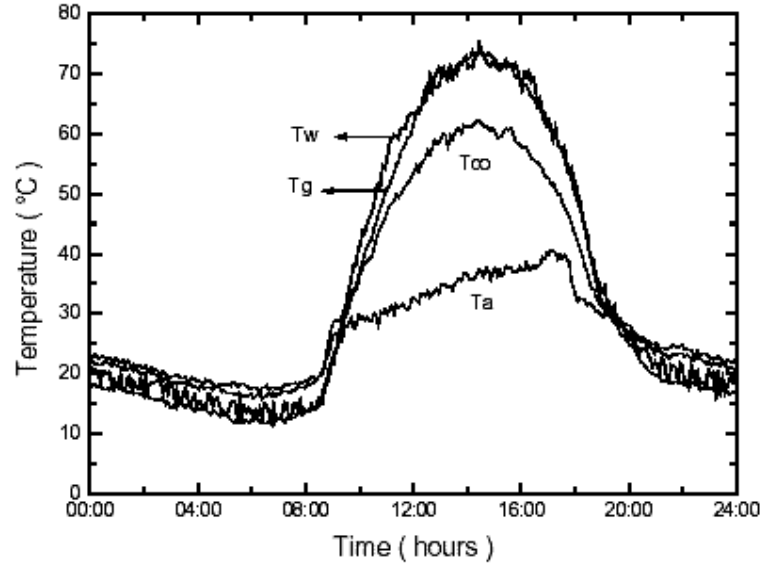
تحسب الكفاءة من المعادلة الآتية:

$$\eta(\%) = \frac{Q_e}{I_{Ta}} \dots\dots\dots (8-14)$$

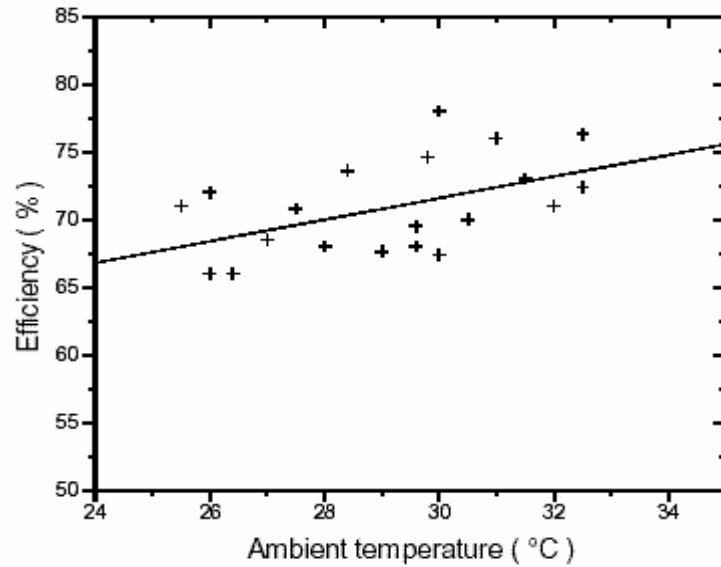
Q_e هي الطاقة المطلوبة لتبخر الحاصل اليومي النوعي (ميكاجول/م² يوم) و I_{Ta} هي شدة الاشعاع الشمسي الساقطة على سطح زجاج المقطر (ميكاجول / م² يوم)



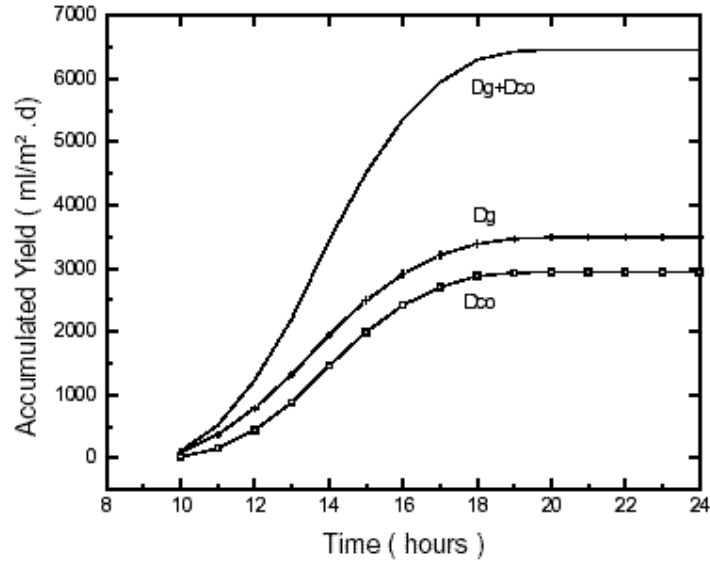
شكل (8-16) : طاقة الاشعاع الشمسي وانتاجية المقطر الشمسي خلال ساعات النهار



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 Flow

المقطر ا

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 فتمثل المكثف. وطريقة عمله هي ان الهواء الجوي يتحرك الهواء من الغرفة العليا المزودة بفتحات الى الغرفة السفلى بواسطة منفاخ حيث يكتسح معه الماء المتبخر من الفتيلة المائلة .

النسبة الكبرى من بخار الماء تتكثف اما على الجانب السفلي من الصفيحة المعدنية التي تفصل الغرفتين او على الانبوب المتعرج 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 السفلى الى خزان التجميع . تيار البخار المشبع يخرج من الغرفة السفلى 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 كالاتي:

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 السفلى عن طريق الصفيحة المعدنية المركزية الطاقة الحرارية المنقولة الى الماء في الانبوب المتعرج تجري تحت الفتيلة المائلة . الطاقة الحرارية تفقد الى الهواء عن طريق اللوح الزجاجي للمقطر ، كذلك الطاقة الحرارية تفقد عن طريق محيط هيكل الغرفة الى الجو ةالى الغرفة السفلى.

المعادلات التفاضلية تصف عمليات انتقال الحرارة الجارية في الغرفة العلوية والعامل الاخير وهو المساحة المحيطية وقد اهملت لانها صغيرة نسبيا ومعزولة.

$$V_a \frac{dQ_u}{dA} = G_{abs} + q_R + c_w \left(m_w \frac{dT_p}{dA} + T_p \frac{dm_w}{dA} \right) - U_{P_{amb}} (T_p - T_{amb}) \dots \dots \dots (8-15)$$

V_a : معدل الجريان الحجمي للهواء الجاف (م³/ثا).

Q_u : انثالبي تيار الهواء القياسي للغرفة العلوية (جول/م³).

G_{abs} : طاقة الإشعاع الشمسي الممتصة بوساطة المقطر (واط/م²).

q_R : الطاقة الحرارية المعادة من الغرفة السفلى الى الفجوة العليا (واط/م²).

c_w : السعة الحرارية للماء (جول/كغم.كلفن).

m_w : معدل الجريان الكتلي للماء (كغم/ثا).

$U_{P_{amb}}$: معامل انتقال الحرارة الكلي من الصفيحة الى الهواء (واط/م².كلفن).

T_p : درجة حرارة الصفيحة (م⁰).

T_{amb} : درجة حرارة الجو (م⁰).

معدل جريان الماء عند أي مقطع يعطى بالمعادلة الاتية:

$$m_w(i+l) = m_w(i) + V_a [H_v(i+l) - H_v(i)] \dots\dots\dots (8-16)$$

Q_u تمثل المحتوى الحراري لتيار الهواء المشبع في الغرفة العلوية.

H_v : الرطوبة المتوازنة للهواء (كغم ماء/م³ هواء جاف).

2- موازنة الطاقة الحرارية في الغرفة السفلى

تيار الهواء الخارج من الغرفة العلوية عند فتحة اتصال الغرفتين وفي العكس ، اتجاه الجريان يكون الى الداخل وفي اعلى الغرفة السفلى ويجري بالاتجاه العلوي ويخرج من اسفل الغرفة السفلى ، في هذه الغرفة تيار الهواء المشبع يتكثف والخليط يشمل الهواء المشبع والمكثف وهو مميز بواسطة تناقصه الطرد في درجة الحرارة والانثاليبي .

معدل التغير في المحتوى الحراري للخليط في مساحة الغرفة السفلى dQ_1/dA وهو موجب بالاضافة الى ذلك فان مساحة الغرفة السفلى اعتبرت بانها تزداد في الاتجاه المقابل من اتجاه الجريان للخليط . في هذه الغرفة فان عمليات انتقال الحرارة الاتية تشترك في موازنة المحتوى الرطوبي وخليط الهواء والبخار الجاري في الغرفة السفلى . الطاقة الحرارية المنقولة الى الصفيحة المعدنية المركزية بواسطة التكثيف من تيار الهواء والطاقة الحرارية المنقولة الى الانبوب المتعرج لتخن الماء الموجود بداخله مسبقا . والطاقة الحرارية المفقودة بواسطة التوصيل خلال الجدار الاسفل والجانب (كلاهما معزولان) من المقطر الشمسي . والمحتوى الحراري للتكثيف . والطاقة الحرارية المفقودة عن طريق محيط هيكل الغرفة السفلى .

المعادلات التفاضلية تصف عملية انتقال الحرارة التي تحدث في الغرفة السفلى . وهذا العامل الاخير قد اهمل .

$$V_a \frac{dQ_u}{dA} = q_R + q_{Rp} + U_{P,amb} (T_1 - T_{amb}) + \frac{dq_c}{dA} \dots\dots\dots (8-17)$$

q_{Rp} : الطاقة الحرارية المعادة من الغرفة السفلى الى الصفيحة المعدنية المركزية (واط/م²).

T_1 : درجة حرارة الغرفة السفلى (م⁰).

q_c : الطاقة الحرارية المتحررة بالتكثيف في الغرفة السفلى (واط/م²).

الطاقة الحرارية التفاضلية من التكثيف الحراري تحررت في الغرفة السفلى، dq_c/dA هي:

$$\frac{dq_c}{dA} = c_w m_c \frac{dT_1}{dA} + c_w T_1 \frac{dm_c}{dA} \dots\dots\dots (8-18)$$

m_c : معدل الجريان الكتلي للتكثيف (كغم/ثا).

معدل جريان التكثيف عند أي مقطع هو

$$m_c(i+l) = m_c(i) + V_a [H_v(i+l) - H_v(i)] \dots\dots\dots (8-19)$$

حل المعادلات التفاضلية

هنالك ارتباط اسي لكل من الانثاليبي ورطوبة خليط بخار الماء والهواء هو دالة لدرجة حرارته ويمكن معرفتها من الخصائص الترموديناميكية للخلط وتعطى من المعادلتين الاتيتين:

$$Q = \alpha_Q e^{\beta T'} \dots\dots\dots (8-20)$$

$$H_v = \alpha_H e^{\beta T'} \dots\dots\dots (8-21)$$

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 بالمتوي. معدل تغير المحتوى الحراري للخليط والرطوبة بمساحة الغرفة هي:

$$\frac{dQ}{dA} = \alpha_Q e^{\beta T'} \frac{dT'}{dA} \dots\dots\dots (8-22)$$

$$\frac{dH_v}{dA} = \alpha_H e^{\beta T'} \frac{dT'}{dA} \dots\dots\dots (8-23)$$

عند تعويض المعادلتين (8-22) و (8-23) في المعادلة (8-15) نحصل على

$$\frac{dT'_u}{dA} = U_{P,amb} \frac{(C_3 - T_u)}{[V_a \alpha_Q e^{\beta T'_u} - c_w (m_w + T_u V_a \alpha_H e^{\beta T'_u})]} \dots\dots\dots (8-24)$$

حيث C_3 تعرف كالاتي:

من موازنة تيار الماء في الغرفة العليا نحصل على النتيجة الاتية:

$$\frac{dm_w}{dA} = V_a \frac{dH_w}{dA} \dots\dots\dots (8-25)$$

ومن المعادلة (8-24):

$$\frac{dH_v}{dA} = \alpha_H e^{\beta T'_u} \frac{dT'_u}{dA} \dots\dots\dots (8-26)$$

ترمز للغرفة العليا.

وبجمع المعادلتين اعلاه ينتج

$$\frac{dm_w}{dA} = V_a \alpha_H e^{\beta T'_u} \frac{dT'_u}{dA} \dots\dots\dots (8-27)$$

وبجمع المعادلتين (8-24) و (8-26) نحصل على :

$$\frac{dm_w}{dA} = \frac{U_{P,amb} (C_3 - T'_u) (V_a \alpha_H e^{\beta T'_u})}{[V_a \alpha_Q e^{\beta T'_u} - C_w (m_w + T'_u V_a \alpha_H e^{\beta T'_u})]} \dots\dots\dots (8-28)$$

تفاضل المعادلة (8-24) و (8-26) هي محلولة عدديا كدالة لمساحة المقطر لمدى من معدلات جريان الهواء وقيم اعادة تدوير الطاقة الحرارية باستخدام طريقة *Runge – Kutta*.