

## الفصل السادس

### التبريد بالطاقة الشمسية Solar Cooling

نظام التبريد بالطاقة الشمسية يشمل ثلاثة انظمة فرعية هي نظام تحويل الطاقة الشمسية ونظام التبريد وحمل التبريد . الدورة المناسبة من تلك الانظمة تعتمد على طلب التبريد والقدرة ودرجة الحرارة للتبريد بالاضافة الى الظروف البيئية. والشكل (1-6) يوضح عدد الطرق الممكنة لاستغلال الطاقة الشمسية لغرض الحصول على التبريد. يبين الشكل انه توجد طريقتين لتحويل الطاقة الشمسية وهي المجمعات الحرارية الشمسية وخلايا *PV* لانتاج الطاقة الكهربائية. ففي المجمعات الحرارية الشمسية يوجد انواع مختلفة من المجمعات تنتج درجات حرارة مختلفة وهذا يبين بان مستويات درجات الحرارة تحدد نوع الدورة المطلوبة فمثلا دورة *Rankin* تتطلب درجات حرارة عالية بينما دورات التجفيف تتطلب درجات حرارة واطنة لتجهيز الحرارة .

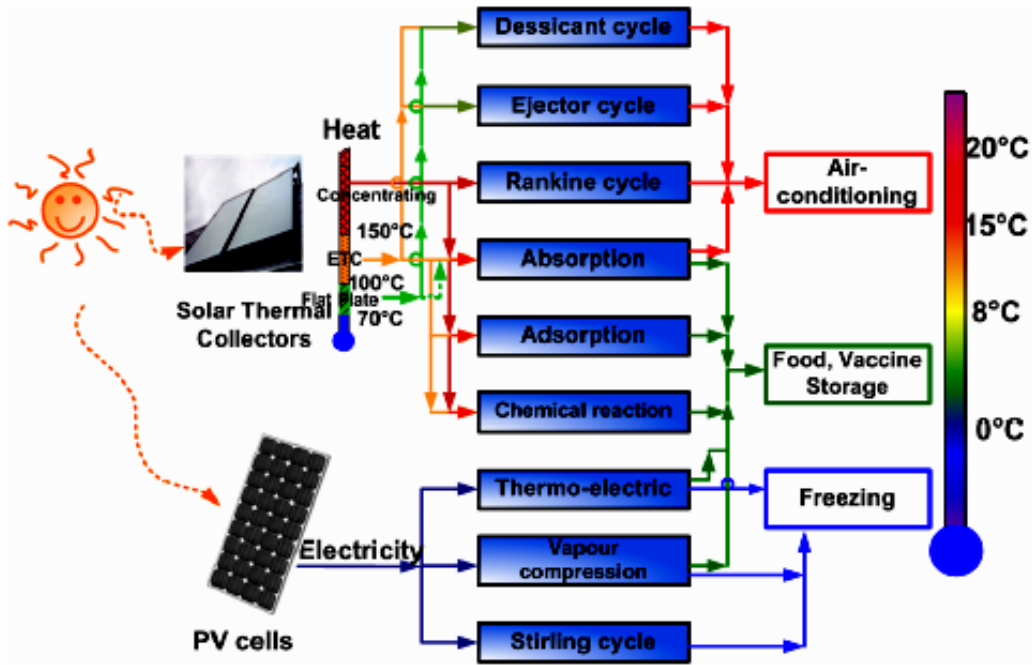
هنالك عدة دورات نموذجية تستعمل الماء كمائع تشغيل ولا تعطي درجات حرارة تحت الصفر مئوي مثل دورات التبريد - هواء الحرارية الشمسية تعتمد على دورات الامتصاص والامتزاز ودورة *Duplex Rankin* ودورات التبريد بالتجفيف ودورات التبريد الطاردة.

عند استخدام تطبيقات تتطلب درجات حرارة منخفضة لخرن الاغذية عند  $-8^{\circ}\text{C}$  - فهناك دورات مختلفة يمكن تطبيقها لهذا المجال مثل دورة انضغاط البخار والدورة الكهروحرارية ودورة الامتصاص ودورة الامتزاز او دورة التفاعل الكيميائي . بينما التطبيقات التي تتطلب درجات حرارة اقل من الصفر مئوي يجب ان 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 التحريك المعتمدة على خلايا *PV (PV-driving stirling cycle)* . كذلك يمكن استخدام دورة الامتصاص المشتركة ودورة الامتزاز ودورة التفاعل الكيميائي وخصوصا للمخازن ذات الحجم الكبيرة مثل انتاج الثلج.

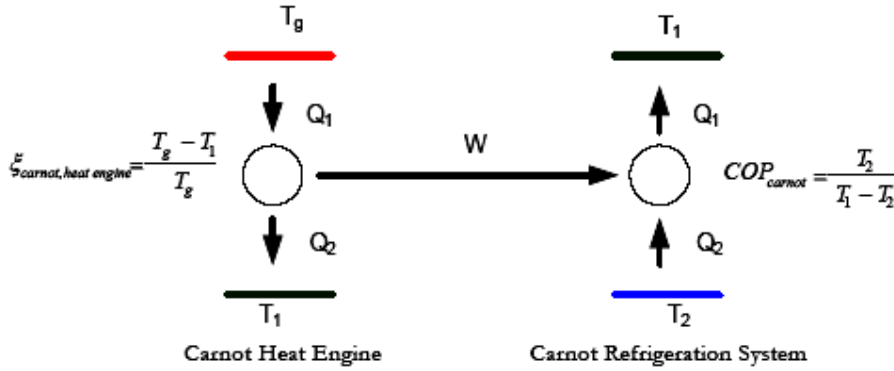
كفاءة دورة التبريد التي تعمل بالكهرباء والنااتجة من خلايا  $PV$  عالية الى حد ما ولكنها تحتاج الى خلية ضوئية وبطاريات وهذه تعتبر مكلفة. اما الدورة التي تعمل بالحرارة فهي اقل كفاءة ولكن المجمعات الشمسية الحرارية قد تصل الى كفاءة تحويل عالية اعلى من خلايا  $PV$  .

### 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 كالاتي:



شكل (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 system thermal ratio كالاتي:

$$STR = \frac{Q_e}{G \cdot A} = \frac{Q_e}{Q_g} \times \frac{Q_g}{G \cdot A} = COP \times \eta_{sc}$$

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 لتكييف 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 مبادل حراري لانتزاع حرارته وتبريده 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 حراري ومبرد تبخيري ومجمع شمسي.

يعد 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 شتاءا 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.

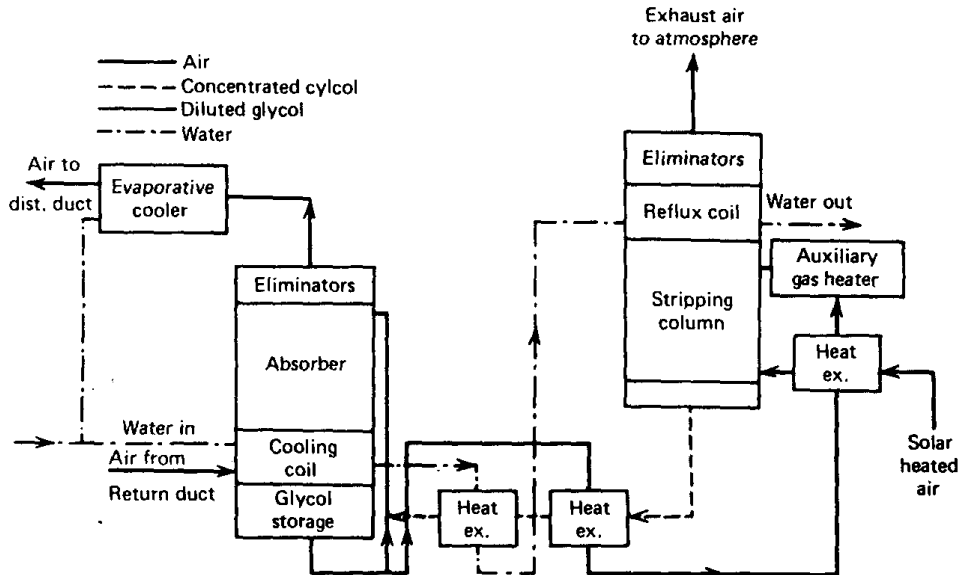
تصنف منظومات التبريد المفتوحة بالطاقة الشمسية المستخدمة الى نوعين هما منظومات الامتصاص المفتوحة وتستخدم مواد تجفيف سائلة ومنظومات الامتزاز المفتوحة وتستخدم مواد تجفيف صلبة.

### 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 (2-6) مخططا للمنظومة التي اقترحها . وقد استخدم مادة تجفيف سائلة هي غليكول الاثيلين *Ethylene Glycol* . حيث رذذ غليكول الاثيلين المركز

في تيار الهواء المعامل فيمتص بذلك غليكول الاثيلين بخار الماء من الهواء المعامل . يسخن غليكول الاثيلين المشبع بالماء بعد ذلك خلال مبادل حراري لرفع درجة حرارته ، ثم يرذذ في عمود تجريد *Stripping Column* وفي تيار هواء مسخن شمسيا . وبعد ارتفاع درجة حرارة غليكول الاثيلين يتحرر بخار الماء منه الى تيار الهواء الساخن لي طرح الى المحيط الخارجي . واما غليكول الاثيلين الذي اصبح مركزا فيمرر خلال مبادل حراري لخفض درجة حرارته وبذلك تتم دورة تجفيفية كاملة . تستخدم الواح اعتراضية لتخليص تيار الهواء المجهد للحيز من رذاذ غليكول الاثيلين . وكانت اهم المشاكل التي واجهتها المنظومة هي تسرب مادة غليكول الاثيلين الى الحيز المكيف.

قام *Johannsen* بتطوير منظومة *Lof* وذلك باعادة تنشيط مادة الامتصاص وهي محلول غليكول الاثيلين الضعيف التركيز والمشبع بالماء في مجمع شمسي قام مقام اعمدة التجريد في الوقت ذاته . وتم ذلك بامرار المحلول بتماس مباشر مع سطح تجميع الطاقة الشمسية حيث يفقد رطوبته بصورة مباشرة الى هواء المحيط الخارجي الذي يمر خلال المجمع الشمسي .



حيث شكل (6-2): منظومة التبريد الامتصاصية المفتوحة (منظومة *Lof*).  
 ذي  
 امتصه من الهواء المعامل.

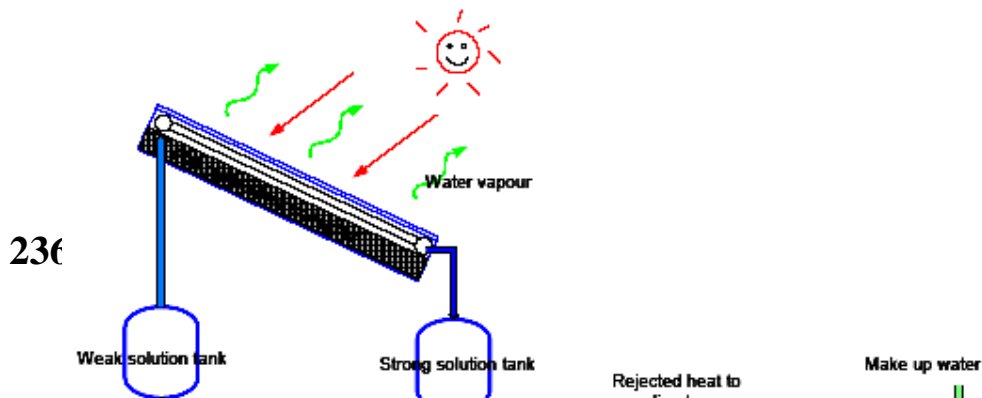
وقد اقترح *Robinson* منظومة امتصاص مفتوحة تستعمل فيها مادة امتصاص سائلة لازالة رطوبة الحيز المكيف . اما حرارة الحيز المحسوسة فتتم ازلتها بماء بئر بارد ، درجة حرارته بحدود  $17^{\circ}\text{C}$  . وكانت المنطقة التي استخدم فيها تلك المنظومة ذات ابار وفيرة. ولذا فان المنظومة لاتصلح للمناطق التي لاتتوفر فيها مياه جوفية باردة.

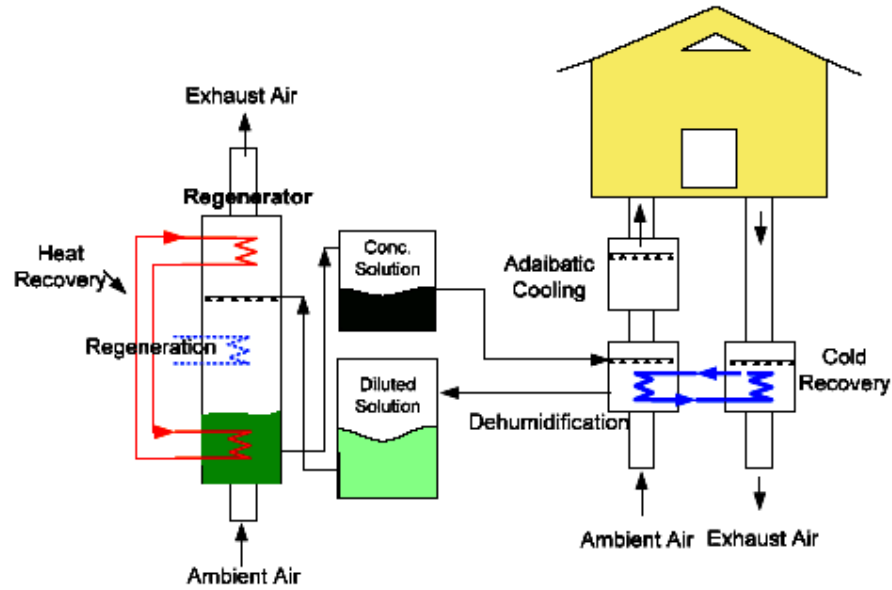
### دورة الامتصاص المفتوحة The Open Absorption Cycle

تتميز هذه الدورة بانها لاتحتوي على مكثف وانما محلول الامتصاص الضعيف يعاد تركيزه بواسطة عملية التبخر في المجمع الشمسي . المحلول يسخن لحين تبخر الماء منه ويزداد ضغط بخار سائل التبريد وتركيز المحلول الماص. محلول الامتصاص القوي يجمع في خزان قبل وصوله الماص .يستخدم الماء كوسط تبريد و  $\text{LiCl}$  او  $\text{LiBr}$  او  $\text{CaCl}_2$  يستخدم كماص والشكل (3-6) يوضح هذه الدورة.

### تقنية التجفيف السائلة

هنالك تصميم آخر لمنظومة التبريد باستخدام مواد تجفيف سائلة مع نظام لخرن الطاقة . مزيل رطوبة الهواء مبرد بواسطة مبخر الماء لغرض اعطاء درجة حرارة مرغوبة ينشط المحلول الضعيف ليكون محلول قوي قبل ان يعاد استخدامه في ازالة الرطوبة واستخدمت الطاقة الحرارية من المجمع الشمسي لعملية التنشيط كما في شكل (4-6).

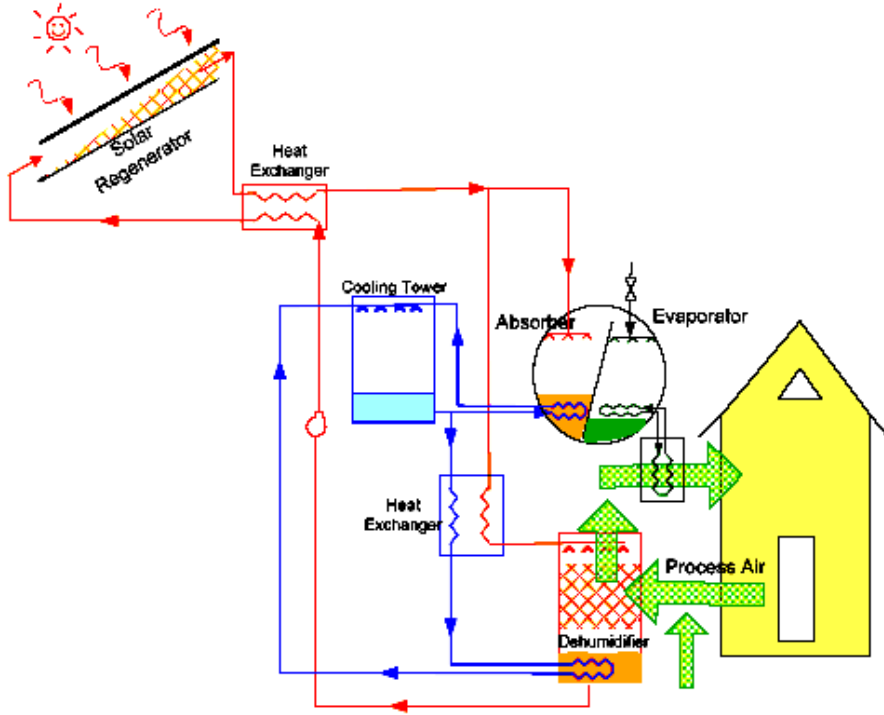




شكل (6-4): دورة الامتصاص المفتوحة مزودة بنظام تخزين الطاقة. (Kessling *et al.*, 1998).

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 اس.م<sup>2</sup>

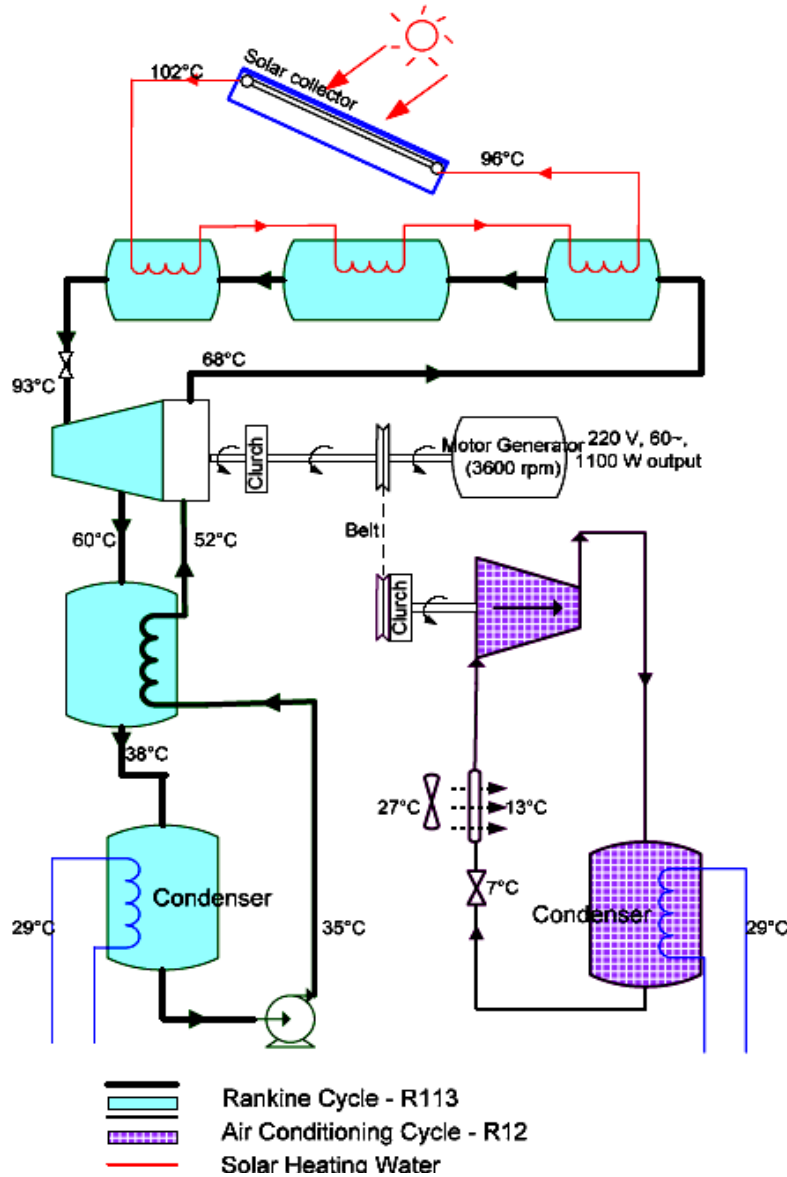
ودرجة حرارة الجو 40 °م .كما في شكل (5-6).



شكل (5-6): دورة الامتصاص المفتوحة مزودة بنظام تخزين الطاقة.  
(Gandbidasan et al.,1998)

### منظومة دبلكس - رانكاين للتبريد الشمسي - solar – driven Duplex – Rankine Refrigeration system

وهي عبارة عن دورة رانكاين ودورة التبريد بانضغاط البخار توضع سوياً 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 رانكاين يختلف عنه في دورة التبريد . كما ان هذه المنظومة تقوم بتوليد الطاقة الكهربائية كما موضح في شكل (6-6).



شكل (6-6): منظومة دبلكس - رانكاين للتبريد الشمسي.

(Prigmore & B rber, 1975)

### انظمة التبريد الامتصاصية التي تعمل بالطاقة الشمسية

ان مصدر الحرارة في هذه الانظمة هو المولد الذي يجهز درجات حرارة اقل من 100 °م اعتمادا على زوج المبرد - الممتص *refrigerant - absorbent* مثل امونيا اماء و ماء ا بروجيد الليثيوم وهذه الانظمة تحتاج الى كهرباء لتدوير وسيط

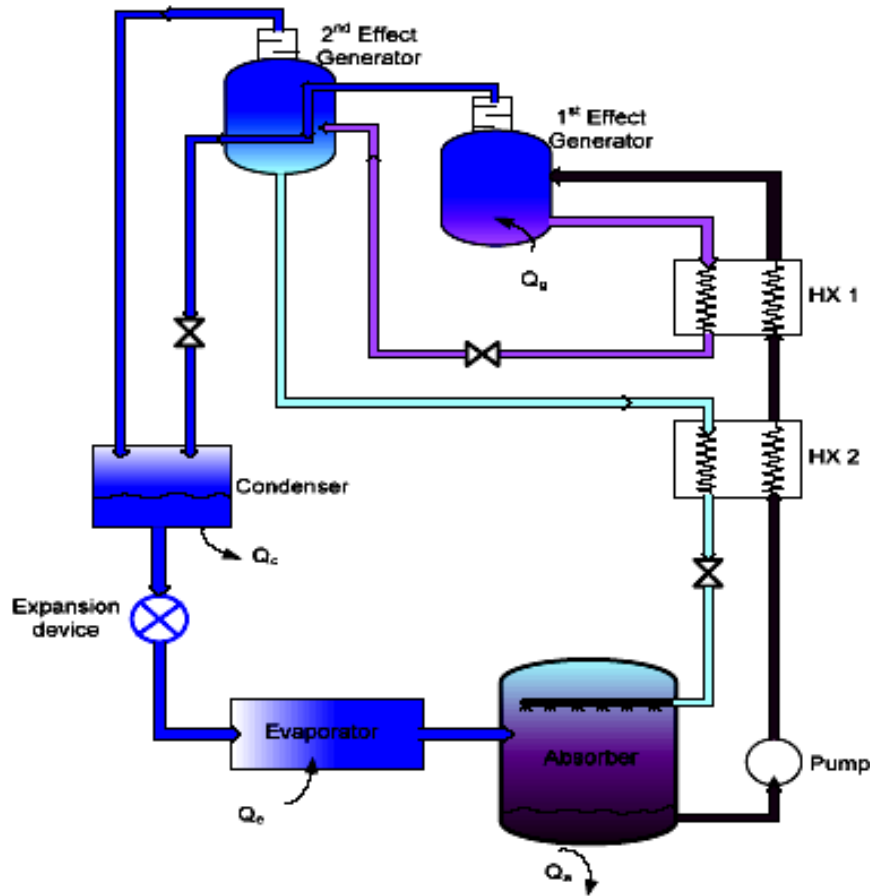
التبريد والتي تعمل بالحرارة والممتص .معامل الاداء لهذه الدورات يكون اعلى منه للدورات الاخرى فمثلا معامل الاداء لدورة تبريد ذات مرحلة واحدة يتراوح بين 0.6 - 0.8 ويزداد الى 1.35 لدورات التبريد المزدوجة وهذه يمكن استخدامها لتطبيقات التبريد وتكييف الهواء . هذه المنظومات يمكن ان تصمم باشكال مختلفة مثل الدورة المفردة الاساسية *basic single effect cycle* ودورة الامتصاص متعددة المراحل *multi-stage absorption cycle* ودورة *Platen Munters* التي يمكن ان 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/ماء 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 *double effect* والتاثير الثلاثي *triple effect* ومبادل حراري ممتص *AHX* او مبادل حراري ممتص مولد *GAX* والمثال على المبرد الحراري المزدوج موضح في الشكل (6-7).



شكل (6-7): 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 داخليا لعدة مرات وهذا ادى الى زيادة التعقيد والتكاليف.

### 3-دورة الامتصاص الانتشاري *The deffution absorption cycle* (Platent-Munter cycle)

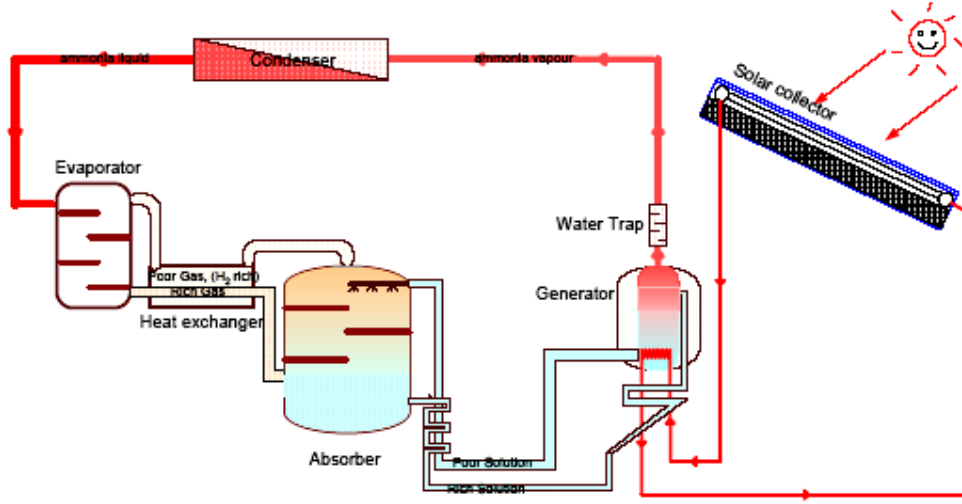
هذا النوع من المنظومات يطلق عليه *Electrolux refrigeration* وهو طور من دورتي كير الامتصاصية وتعمل بدون مضخة ويطلق عليها *no-moving part* و *no-auxiliary energy supply cycle* الغاز الخامل يستخدم على الخط الرئيسي ذي الضغط الكلي الثابت في المنظومة ، شكل (6-8).

الضغط الجزئي لسائل التبريد يسمح له بأن يكون منخفض في المبخر لانجاز عملية امتصاص والهيدروجين يستخدم كغاز حامل . ان مبدأ عمل هذه الدورة يشبع عمل دورة الامتصاص ذات المرحلة الواحدة والاختلاف هو ان الضغط الكلي يكون نفسه في داخل المنظومة والهيدروجين يدور بين المبخر والممتص حيث يقوم بتعويض فرق الضغط بين الجانب ذي الضغط العالي والاخر ذي الضغط الواطيء . بخار الامونيا في المولد يتكثف في المكثف قبل وصوله الى المبخر. في المبخر سائل الامونيا يعرض الى جو من الهيدروجين ويحصل التبريد عند تبخر سائل الامونيا.

نتيجة للضغط الجزئي المنخفض له ، خليط الامونيا والهيدروجين يستمر بالقدوم الى الممتص (المرور خلال المبادل الحراري الداخلي) يقوم محلول الماء بامتصاص الامونيا والهيدروجين 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 - 180°م 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°م باستخدام المجمع الشمسي المفرغ عند 200°م والخزن الحراري.

### المولد الكيميو حراري (TCA) The thermochemical Genrator

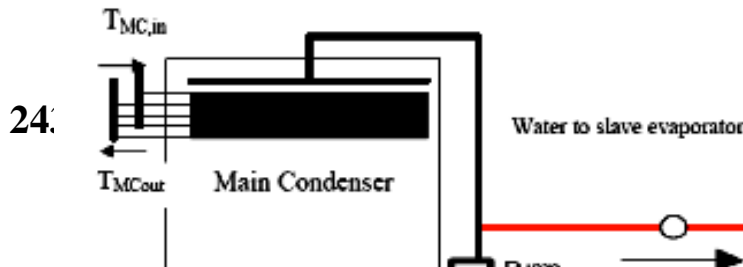
المولد الكيميوحراري هو مبرد امتصاص ثلاثي الطور ذو مضخة حرارية له القدرة على خزن الطاقة داخلها في الملح التبلور . في هذه الحالة كلوريد الليثيوم مع الماء يكون سائل التبريد . تتم هذه العملية تحت ظروف التخلخل بالضغط مع مبردات امتصاص قياسية باستخدام بروميد الليثيوم والماء. ان تشغيله يكون متقطع حيث يحصل طور شحن يتبعه طور تصريف وطور يبقى بين الطورين لكي يعطي عملية تشغيل مستمرة. شكل (9-6) و (10-6) يبينان مخطط للجريان في وحدة TCA . ان محلول كلوريد الليثيوم والماء يضخ فوق المبادل الحراري عن طريق الرش لزيادة المساحة المرطبة وتحسين انتقال الحرارة.



شكل (6-8): دورة الامتصاص الانتشاري للتبريد الشمسي.

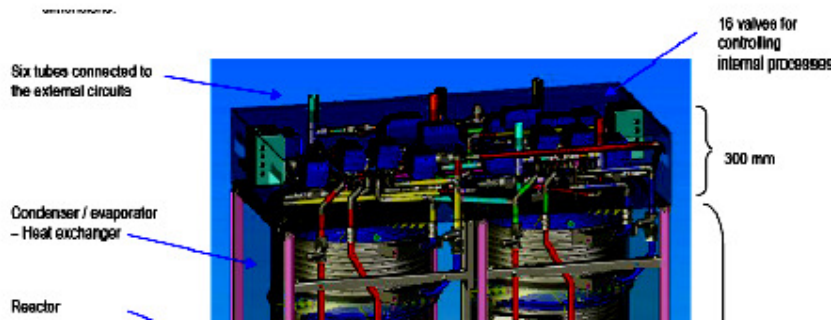
(Granryd,1998)

المحلول يأتي مغلق للتشبع وعندما يصل الى نقطة التشبع وازدادة الى عدم الامتزاز تتكون بلورات صلبة وتسقط تحت تاثير الجاذبية في اسفل الوعاء وفي هذه المنطقة يوجد منخل تتجمع عليه البلورات. كما هو موضح في شكل (6-9). المحلول المشبع يضخ فوق المبادل الحراري حيث يمتصه المبخر والحرارة المطلوبة لتغير الطور تعطي تاثير التبريد . ويصبح المحلول 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 المحلول هو دائما مشبع والشبكة تذيب البلورات وتحولها الى محلول مشبع .



### الدورات المتقطعة Intermittent Cycle

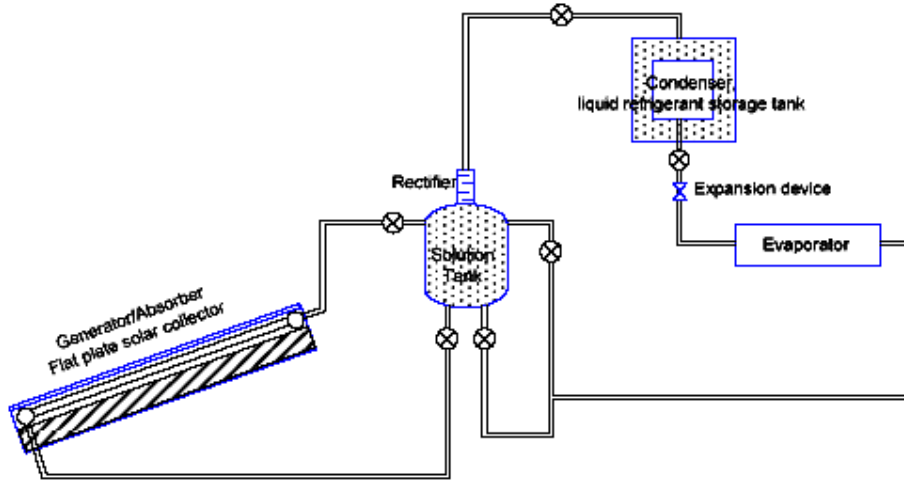
مبدأ عمل هذه الدورات يعتمد على دورة التبريد الامتصاصية ويستخدم المجمع الشمسي كمولد للحرارة ، والمنظومة لاتحتاج الى مضخة. هنالك عمليتين رئيسيتين هما التوليد والتبريد تستخدم الامونيا كسائل تبريد عملية التوليد عندما محلول امونيا - ماء يسخن في المجمع الشمسي والمحلول يذهب الى الخزان بواسطة السيفون الحراري ، بخار الامونيا ينفصل من الخزان ويمر خلال المصدر الى المكثف . بعد عملية التوليد فان المولد والمكثف معزولان عن الدورة والمحلول الضعيف في



المولد هو مبرد بواسطة درجة حرارة الهواء الجوي . المولد يحتوي على محلول ضعيف عند درجة حرارة الجو ووظيفته هي كممتص . توليد عملية التبريد عندما سائل التبريد (الامونيا) يخنق خلال صمام التمدد الى المبخر . سائل التبريد يتبخر ويمر البخار الى الممتص .

هذا النوع من منظومات التبريد الشمسية المتقطعة يكون على نوعين هما ذو المرحلة المفردة وذو المرحلتين.

الـ STR<sub>S</sub> من هذه الانظمة تصل درجة حرارة التوليد الى 120 °م وهي حوالي 0.05 للنظام المفرد. والمنظومة موضحة في شكل (6-11).



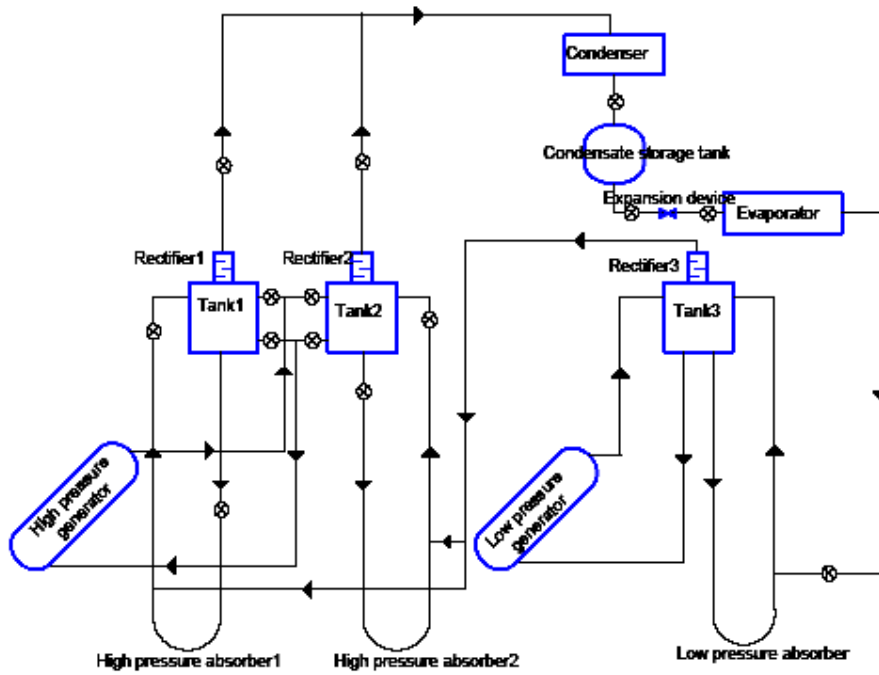
شكل (6-11): دورة التبريد الشمسي المتقطعة. (Venkatesh & Mani, 1989)

المنظومة التي تعمل بصورة متقطعة ذات المرحلتين يمكن ان تستخدم للتسخين وترفع الكفاءة . هذه المنظومة تسيطر على درجة حرارة التشغيل المحدودة في المنظومة ذات المرحلة المفردة والتي لاتعمل عند درجات الحرارة المنخفضة . في هذه المنظومة هنالك مستويين لضغوط 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 لايجهزان المحلول الضعيف الى HPG بنفس الوقت وهما متناوبان يوميا . الخزان 3 يعمل كل يوم لتجهيز المحلول الضعيف الى خزان 1 و 2 أي لا يكون تزويد المحلول الى HPG . ان توليد درجة

الحرارة يصل الى حدود 70 - 80 °م ومعامل الاداء الاجمالي للمنظومة حوالي 0.15 . والمنظومة موضحة في شكل (6-12).

### دورة التبريد الامتزازي المتقطعة *The Intermittent Adsorption Refrigeration Cycle*

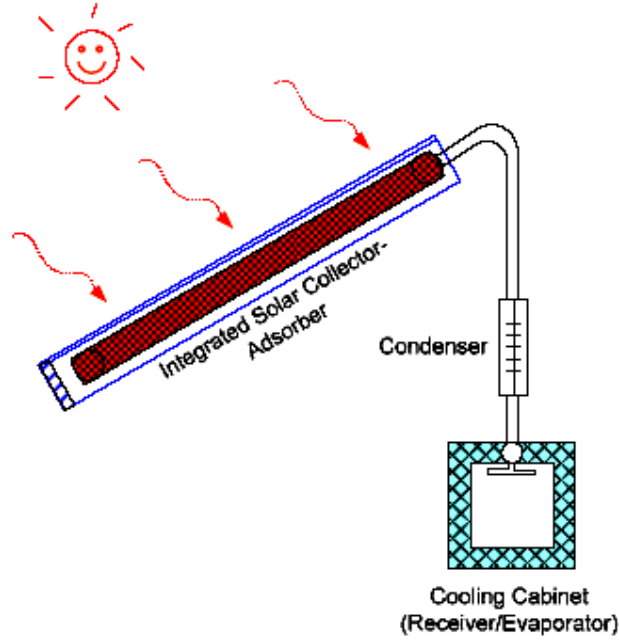
اغلب منظومات التبريد الامتزازي الصلبة هي من النوع المتقطع . الكربون النشط \ الميثانول تستخدم بشكل واسع في مثل هذه المنظومات التي تستخدم لانتاج الثلج. وكما هو موضح في شكل(6-13).



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 مجمعات شمسية مستوية وكذلك مجمعات شمسية مفرغة. وكذلك تستخدم الامونيا كسائل تبريد ولكن يجب ان يستخدم مجمع شمسي من الحديد او الالمنيوم وهذا النظام لا يحتوي على صمام.

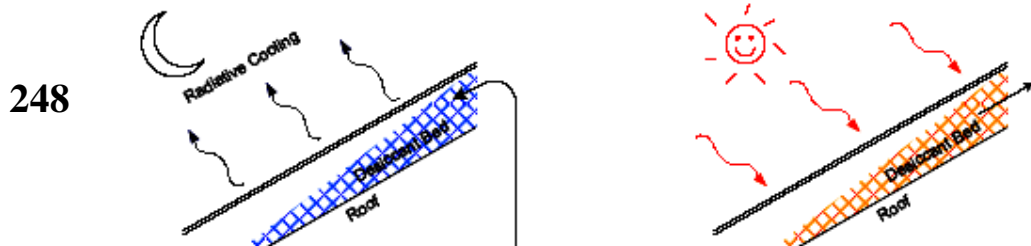
كذلك يستخدم *water | Zeolite* لتطبيقات تكييف الهواء ، بينما يستخدم الكربون المنشط والامونيا في الاجهزة المستعملة لحفظ الاغذية بالتجميد.



شكل (6-13): دورة التبريد الامتزازي المتقطعة. (Hu,1996)

*Solar- Driven* منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي المدمجة بالمجمع الشمسي  
*Driven Desiccant Cooling System with integral Desiccant solar collector*

تتكون المنظومة من ثلاث 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 (6-14).



### A Solar Ammonia جهاز تجميد شمسي يعمل بامتصاص الامونيا Absorption Ice maker

هذا الجهاز يعتمد في عمله على الطاقة الشمسية . كما في شكل (6-15) و (6-16) يحدث التجميد فيه بطريقة متقطعة نتيجة اعتماده على الطاقة الشمسية اثناء النهار وانعدامها اثناء الليل. هذه المنظومة تستخدم الملح بدلا من الماء كمادة امتصاص ، لان الملح لا يتبخر اثناء التسخين .

المولد *Generator* هو عبارة عن انبوب قطره 3 أنج مصنوع من الحديد غير المغلون ، وموضوع 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* توضع في خزان مكيف الضغط بحيث يسمح لها بالتبخر خلال الصمام الى المولد وعنده تمتصها جزيئات الملح مكونة محلول *Calcium Chloride - Ammonia* ( $\text{CaCl}_2 \cdot 8\text{NH}_3$ ). 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.

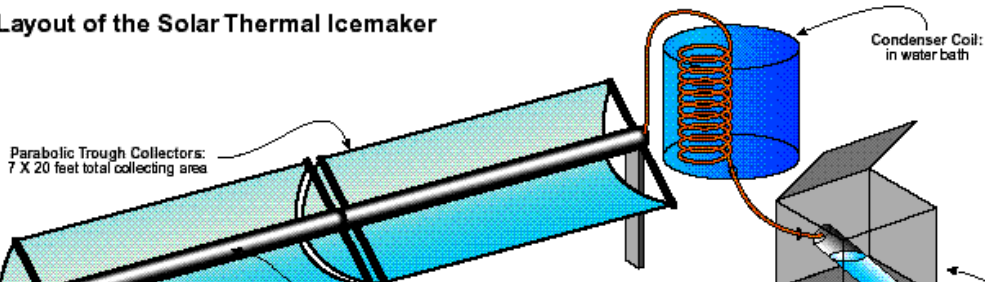
عمل المجمد

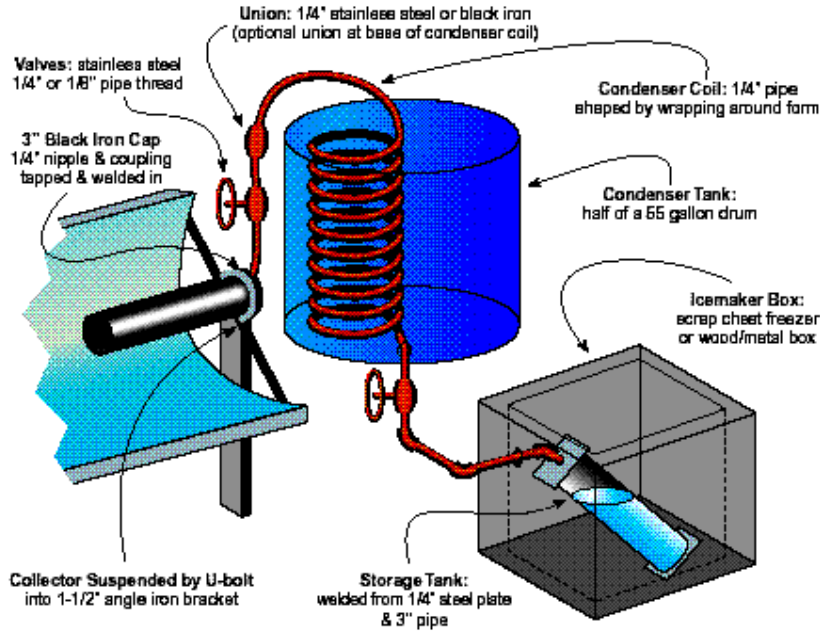
هذا المجمد يعمل في دورة نهارا ١ ليلا ، توليد الامونيا المقطرة خلال وقت النهار ويعاد امتصاصها في الليل . الامونيا تغلي خارج المولد وتكون على شكل غاز ساخن عند ضغط مقداره حوالي  $200 \text{ psi}$  ، هذا الغاز يتكثف في المكثف وينزل على شكل قطرات في الخزان . وفي نهاية اليوم يتم امتصاص وتجميع ثلاثة ارباع الامونيا (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 تتبخر من الصندوق . اثناء تبخر الامونيا فانها تزيل كميات كبيرة من الحرارة من خزان التجميع والماء الموجود فيه. خلال هذه الدورة فان كل الامونيا تتبخر من الخزان وان جميع الماء الموجود فيه يتحول الى ثلج ويستخرج عند الصباح ويستبدل بماء جديد للدورة القادمة.

تحت اشعة الشمس الجيدة فان المجمع الشمسي يجمع طاقة كافية لاكمال دورة التوليد لمدة ثلاث ساعات فقط . وهذا يسمح للمجمدة بالعمل بصورة جيدة حتى في اليوم الضبابي او الغائم جزئي ، وعندها 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 (6-16): جهاز تجميد شمسي موضحة عليه الابعاد.

(Vanek et al.,1996)

### مجمد امتزازي يعمل بالطاقة الشمسية Solar Powered Adsorption Refrigerator

في هذا النوع من المجمدات شكل (6-17) فان وسيط التبريد هو الماء والجزء الممتز هو حبيبات السليكا جل *Micro porous Silica gel* . والمجمع الشمسي الذي مساحته 2م<sup>2</sup> وزاوية ميله 30 درجة ذو غطاء زجاجي شفاف واخر من النفلون على شكل طبقة رقيقة مثبتة بين الزجاج وجزء الامتزاز والاخير يتكون من 12 انبوب

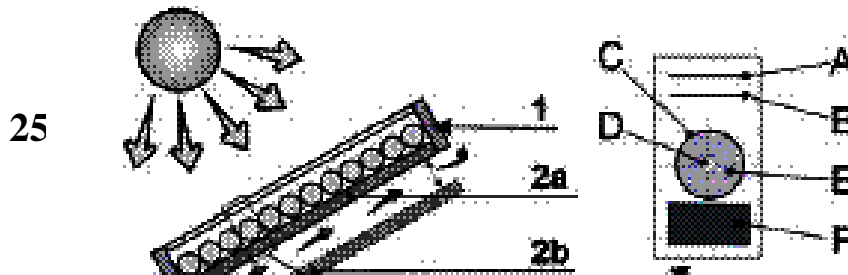
قطر الواحد 72.5 ملم يحتوي على 78.8 كغم من حبيبات السليكا جل . الانابيب مغطاة بطبقة اليكتروليتيّة منتخبة *Chrome – black, Enegie Solaire SA* التي امتصاصيتها 95% من الاشعاع الشمسي المرئي وانبعاثيتها حوالي 0.07 في الاطوال الموجية للاشعة تحت الحمراء وضعت هذه الانابيب على صفيحة معدنية توصيلها الحراري عال والسعة الحرارية النوعية لها منخفضة.

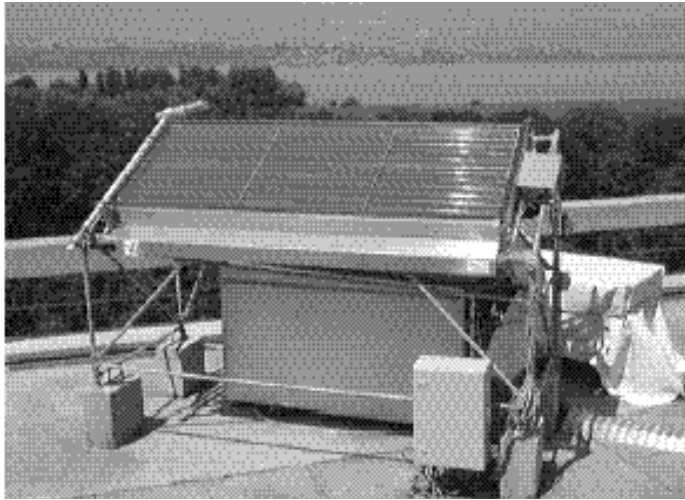
الانبوب المركزي مصنوع من مشبك معدني قطره 15 ملم وقطر فتحاته 1 ملم وسمك 0.45 ملم . صمامات التهوية تتكون من ميكانيكية بحيث تسمح للعزل الحراري الذي سمكه 50 ملم من الفايركلاس ليكون مفتوحا من الجانب الخلفي من المجمع الشمسي ، ليجهز تبريد كفاء بالحمل الطبيعي خلال الليل.

يتكون المكثف من ثمانية انابيب متوازية ومزعنفة يتم تبريدها بواسطة الحمل الطبيعي للهواء ، ومساحة الزعانف الكلية هي 6.9 م<sup>2</sup> . يتكون المبخر من ثلاث حلقات مصنوعة من انابيب مربعة ، مساحة التبادل الحراري الكلية لها 3.4 م<sup>2</sup> ، وطاقته الاستيعابية 40 لتر من الماء تتحول الى جليد 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 / م<sup>2</sup> 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 / م<sup>2</sup> ويفتح عند نهاية المساء عندما زاوية الاشعاع الشمسي المؤثرة فوق الفتحة المستوية من المجمع الشمسي هي فوق 50 درجة.





شكل (6-18): صورة فوتوغرافية للمجفف الشمسي الامتزازي.  
(Hildbrand *et al.*,2002)

#### اداء المنظومة

معامل الاداء C.O.P لمنظومة التبريد الشمسية يحسب من المعادلة الاتية:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_h} = \frac{m_L [\lambda - C_p (T_c - T_e)]}{A_{fs} \int_{sunrise}^{sunset} I_T dt} \dots\dots\dots (6-1)$$

$Q_e$ : الطاقة الحرارية اللازمة للتبخير (جول).

$Q_h$ : الطاقة الحرارية الشمسية. (جول).

$m_L$ : كتلة السائل (كغم).

$\lambda$ : الحرارة الكامنة لتبخر الماء (كج/كغم).

$C_p$ : الحرارة النوعية (جول / كغم.كلفن).

$T_c$ : درجة حرارة المكثف (كلفن).

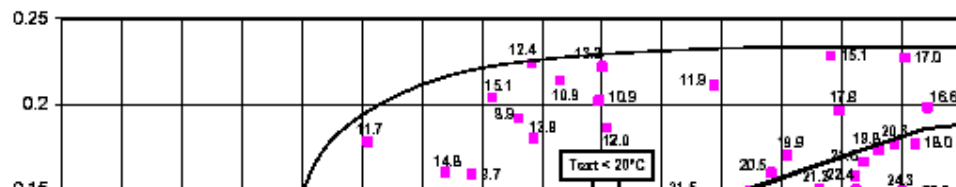
$T_e$ : درجة حرارة المبخر (كلفن).

$A_{fs}$ : مساحة الجانب الامامي من المجمع (م<sup>2</sup>).

$t$ : الزمن (ثانية).

يلاحظ من الشكل (6-19) ان معامل الاداء الذي تم قياسه خلال فترات زمنية متساوية من اليوم الشمس لشدة اشعاع شمسي متغيرة حسب ساعات اليوم . وكذلك يوضح معدل درجات الحرارة الخارجية.

ان شدة الاشعاع الشمسي في البداية هي 7 ميكاجول ١ م<sup>2</sup> ومعامل الاداء يساوي صفر ، وعندما كانت 20 ميكاجول ١ م<sup>2</sup> فان معامل الاداء قد تغير بين 0.12 و 0.23 واهذا يعني ان معامل الاداء متغير من يوم الى يوم اخر وهذا بسبب التأثير 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 السيليكا جل افضل ، وعندما يكون الامتزاز عالي وكذلك التبخر ونتيجة لهذا ستكون هنالك كمية كبيرة من الثلج في المبخر. وفي الصباح القادم فان الممتز 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 ويبدا التكثيف . ولمدة يومين وعند تساوي شدة الاشعاع الشمسي فان الاداء سوف يكون افضل عندما تكون درجة الحرارة الخارجية منخفضة.



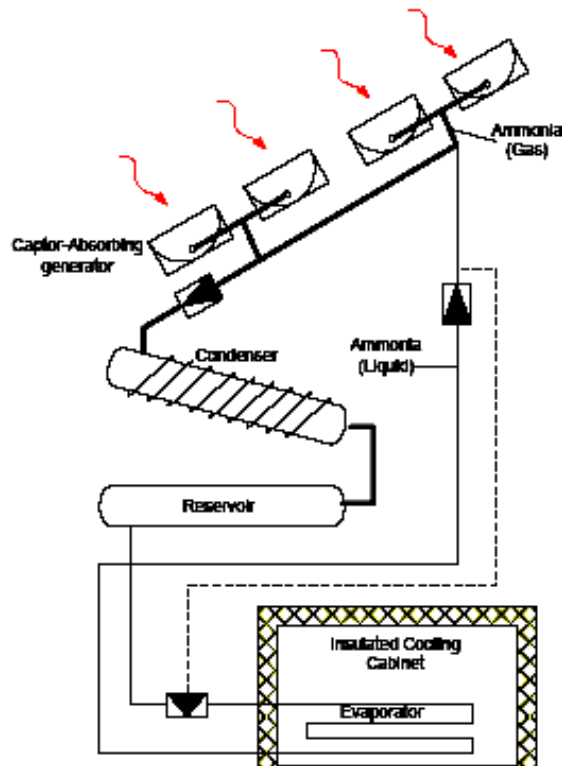
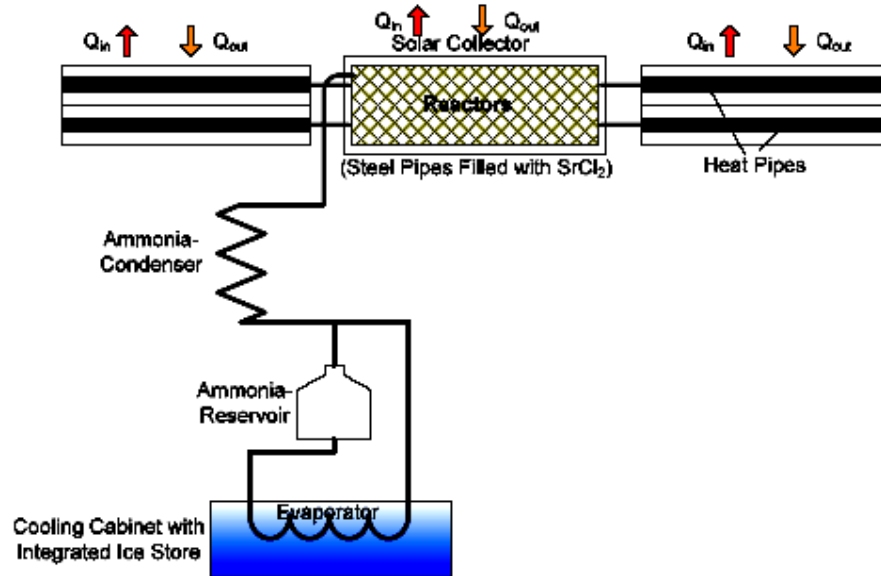
### النظام المستمر *The Continues System*

يتكون هذا النظام من مكثف وصمام خانق ومبخر ومفاعل امتزاز صنع Oertel & Fischer (1998), منظومة تبريد امتزازية مستمرة لمخزن تبريد باستخدام السيلكاجل ١ ميثانول واستخدما مجمع شمسي مستوي لتجهيز الحرارة الى مفاعل الامتزاز . درجة حرارة التبريد هي  $-2^{\circ}\text{C}$  عند درجة حرارة التفاعل  $80 - 90^{\circ}\text{C}$  . واقترح Zhang & Wang (2002) منظومة امتزازية مستمرة للتسخين والتبريد خلال اليوم وينتج 30 كغم ماء حار بدرجة حرارة  $48^{\circ}\text{C}$  ومعامل الاداء للتسخين هو 0.34 في الليل يتم التبريد عند سعة 0.13 ميكاجول  $\text{am}^2$  من مساحة تجميع الحرارة ومعامل الاداء للتبريد 0.18.

### دورة الامتزاز الكيميائي *The Chemical Adsorption Cycle*

النسبة الحرارية للمنظومة STR للنموذج في الشكل (20-6) تتراوح بين 0.06 – 0.14 وسط التشغيل هو  $\text{Ammonia/SrCl}_2$  وهذه المنظومة تتراوح كفاءتها بين 0.05 – 0.08 . صمم Enibe & Iloeje, (1997) مجمعات شمسية مصنوعة من الالمنيوم والحديد مملوءة بمادة الامتصاص وادت الى تحسين معامل الاداء لهذه

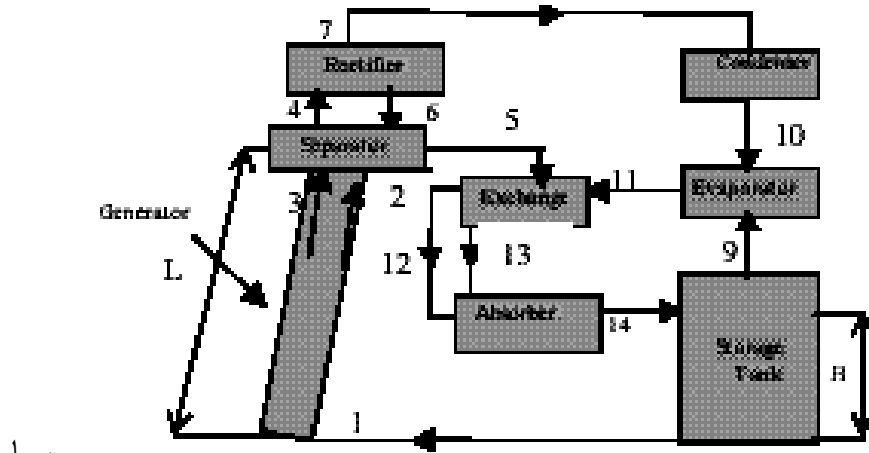
المنظومة الى 30 %. ويوضح الشكل (6-21) مكونات ثلاجة شمسية نوع *Cold egos solar refrigerator* .



شكل (6-21): اداء المنظومة. (Frhard *et al.*,1999) (Flechon *et al.*,1998) مل  
بالامتصاص والانتشار للامونيا وغاز الهيدروجين . يتكون من مبخر ومكثف

وممتص ومبادل حراري ومجمع شمسي ومنقي *Rectifier* وجهاز فصل . يأتي محلول الامونيا - ماء من الخزان ويمر في انابيب المجمع الشمسي 1 حيث يتم تسخينه هنالك ، وتتبخر الامونيا وينقلا المحلول الضعيف منهما الى جهاز الفصل . ان بخار الامونيا المتولد يحتوي على كمية قليلة من بخار الماء وهذه يمكن التخلص منها عن طريق المنقي وبخار الماء المتكثف 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 ياتي بتماس مباشر مع المحلول الضعيف الذي ياتي من منطقة الفصل وكلاهما ياتيان الى المبادل الحراري ويمتصان كمية من الحرارة فيما بعد.

عند مخرج المبادل 13 فان المحلول 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 (22-6).



شكل (22-6): جهاز تجميد شمسي .

ويمكن -

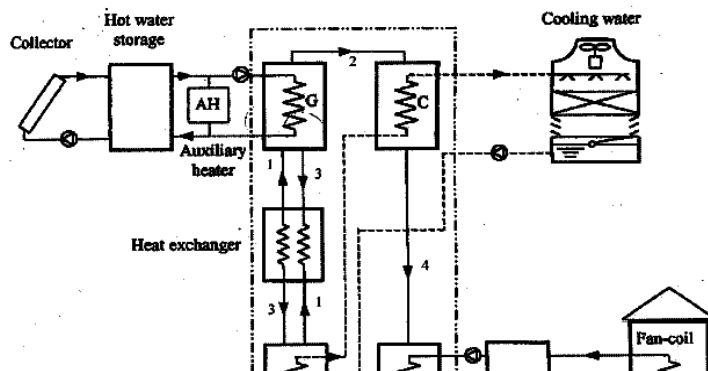
(2004)

$$A_{coll.spec.} = \frac{1}{I_T \eta_{coll.} COP} \dots \dots \dots (U - L)$$

عندما تكون شدة الاشعاع الشمسي 800 واطام<sup>2</sup> وكفاءة المجمع الشمسي 50 % ومعامل الاداء 0.7 فان مساحة المجمع الشمسي النوعية 3.6 م<sup>2</sup> لحمل تبريد مقداره 1 كيلو واط.

هنالك منظومة تبريد شمسية تعمل بالامتصاص *Solar Absorption Cooling System* شكل (23-6) تتكون من مجمع شمسي ومثلج *Chiller* يحتوي على مولد حرارة ومبادل حراري وممتص ومكثف ومبخر اضافة 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 (LiBr + H<sub>2</sub>O حيث يتبخر الماء منه ويذهب الى المكثف ومن ثم الى المبخر ومن الاخير ينتقل عبر ملف الى الحيز المراد تبريده . وبالوقت نفسه فان المحلول القوي يغادر المولد وينتقل عبر المبادل الحراري ليقوم بتسخين اولي الى المحلول الضعيف ثم ينقل الى الممتص . وفي الاخير فان المحلول القوي يقوم بامتصاص بخار الماء الناتج من المبخر الى الجزء الممتص . من برج التبريد ينتقل الماء البارد اولا الى الممتص ووظيفته ازالة الحرارة الناتجة عن الخلط والتكثيف . ان درجة حرارة الممتص لها تاثير على الكفاءة اكبر من جزء التكثيف. 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:

$$Q_{gen.} = h_2m_2 + h_3m_3 + h_1m_1 \dots \dots \dots (6-3)$$

معدل الحرارة المزالة بواسطة المكثف هي:

$$Q_{con.} = m_2(h_2 - h_4) \dots \dots \dots (6-4)$$

ومعدل امتصاص الحرارة في المبخر هو:

$$Q_{eva.} = m_4(h_4 - h_1) \dots \dots \dots (6-5)$$

اما معدل الحرارة المزالة بواسطة الممتص هي:

$$Q_{ab.} = h_5m_5 + h_3m_3 + h_1m_1 \dots \dots \dots (6-6)$$

ان معامل الاداء يعرف من المعادلة الاتية:

$$C.O.P. = \frac{Q_{evap.}}{Q_{gen.}} \dots \dots \dots (6-7)$$

الانتالبي لمحلول بروميد الليثيوم + ماء يحسب من المعادلة الاتية:

$$h = \sum_0^4 A_n x^n + T \sum_0^4 B_n x^n + T^2 \sum_0^4 C_n x^n \dots \dots \dots (6-8)$$

حيث A و B و c ثوابت

خزان الماء المستخدم للخرن 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 مقترحة 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 ا كلفن وهي مفترضة من قبل *Duffie & Beckman* كما ان معامل انتقال الحرارة افترض 0.72 واط ا م<sup>2</sup> كلفن للحمل الطبيعي.

السخان المساعد الذي يقع خارج الخزان المخصص لخرن الحرارة الذي يرفع درجة حرارة الماء الاتي من الخزان عندما تكون درجة حرارته غير كافية لعمل المنظومة. سعة الخزان المساعد تحسب من المعادلة الاتية :

$$Q_{aux.} = mc_{pw} (T_{ref.} - T_s) \dots\dots\dots (6-10)$$

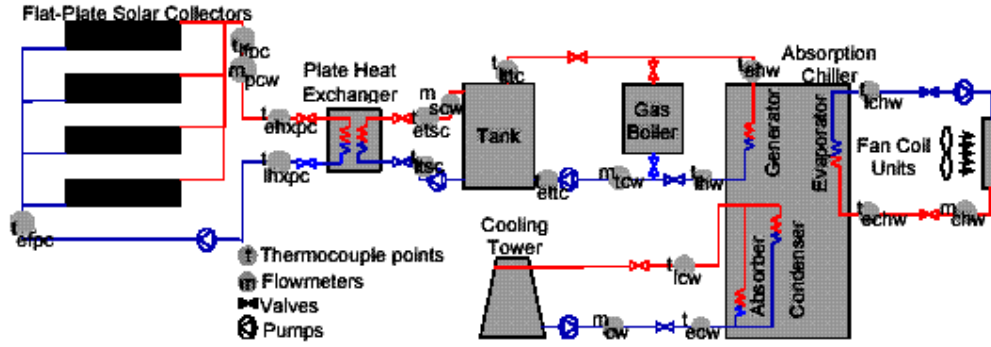
حيث ان  $m$  معدل الجريان الكتلي للماء المستخدم بالمولد .

ان نسبة الطاقة المجانية *Fraction nonpurchased Energy*

$$FNP = 1 - \frac{Q_{aux.}}{Q_{load}} \dots\dots\dots (6-11)$$

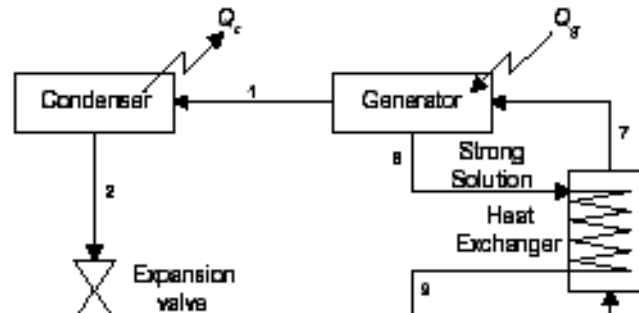
$Q_{load}$  هي بالضبط نفس  $Q_{gen}$  والتي هي حمل المولد وتتضمن المدخلات والمخرجات من الطاقة.

وهناك 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 المتكثف عن طريق جهاز التمدد ويحتوي على ممرين ، يتبخر سائل التبريد تحت ضغط منخفض في المبخر وينتج التبريد ، والماء يجري خلال المبخر عبر ملف ويبرد وينتقل الى ملف موجود في الحيز المراد تبريده وتقوم مروحة بتحريك الهواء عليه واجراء عملية التبريد وتصل درجة حراره هنالك الى 8 °م.



شكل (6-24): منظومة تكييف الهواء الشمسية 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 يتبخر 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 ياتي من المولد 8 خلال صمام التمدد 10 وايضا من المحلول الضعيف 5 . والاخير يسخن الى مولد الضغط 7 وسائل التبريد في حالة توقفه عن الغليان . المحلول المتبقي 8 يرجع الى الممتص وبهذا تكتمل الدورة.



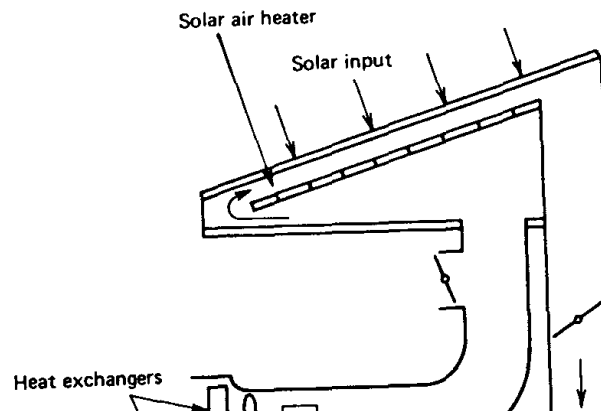
## 2- منظومات الامتزاز المفتوحة

تعد السليكا جل مادة الامتزاز الاكثر استعمالا في هذه المنظومات ، وذلك لان درجة اعادة تنشيطها واطئة نسبيا وتتراوح بين 60 - 80 °م . ولذا يمكن استعمال المجمع الشمسي المستوي مع المنظومات التي تستخدم السليكا جل لتجهيزها بالحرارة اللازمة لاجراء عملية تحرير بخار الماء الذي تم امتزازه من الهواء المعامل.

تعد المنظومة المقترحة من قبل *Dunkle* والمبينة في الشكل (26-6) ، منظومة الامتزاز المفتوحة الاساسية . ويتم في هذه المنظومة اولا غسل الهواء المعامل وتبريده تبخيريا في جهاز غسل الهواء . ثم يمرر خلال مبادل حراري لتبريد تيار الهواء الساخن المجفف، فيسخن بذلك الهواء المغسول قبل دخوله المجفف. يتم امتزاز رطوبة الهواء المغسول في افرشة السليكا جل الدوارة ، فيخرج الهواء ساخنا جافا . يمرر بعدها خلال مبادلين حراريين ، الاول يبادل الحرارة مع هواء المحيط الخارجي الذاهب الى سخان الهواء الشمسي ، والثاني يبادل الحرارة مع الهواء المغسول . بعد ذلك يبرد الهواء المجفف تبخيريا بترذيذ الماء فيه ليجهز بعدها الى الحيز المراد تكييفه . ومن اهم المميزات الاخرى للمنظومة هي ان كلا 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* وآخرون 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 فتتمز 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 الاثنان معا ، ليمرر خلال مزيل الرطوبة لغرض اعادة تنشيط مادة التجفيف . وبذلك تكون العملية كاملة وتستمر الدورة في عملها لتجهيز الحيز بالهواء المكيف.



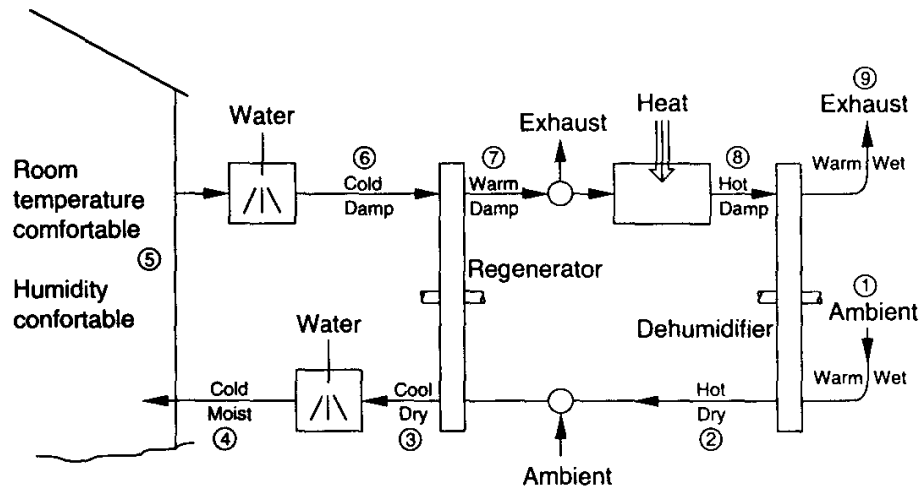
اما نموذج الاسترجاع فمكوناته مماثلة للتي يتكون منها نموذج التهوية . ماعدا ان هواء الحيز المكيف يعاد تكييفه ليجهز مرة اخرى للحيز في دورة شبه مغلقة ، وفي الوقت الذي يستخدم فيه هواء المحيط الخارجي لاعادة تنشيط افرشة التجفيف كما

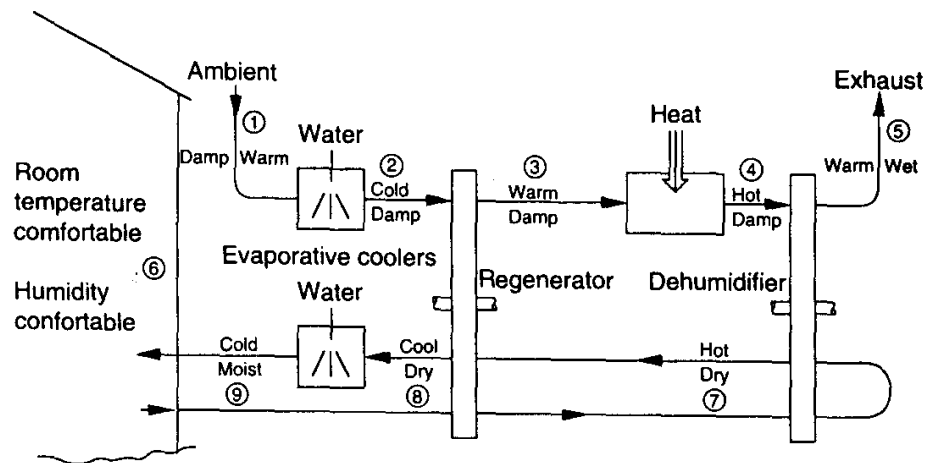
مبين في الشكل (28-6) ، يجهز هواء الحيز المكيف الى مزيل الرطوبة لازالة رطوبته بامتزاز بخار الماء فيسخن ، ويمرر بعدها خلال مبادل حراري لانتزاع حرارته المحسوسة ثم يبرد تبخيريا ليعاد تجهيزه الى الحيز . واما هواء المحيط الخارجي فيبرد تبخيريا اولاً لاستخدامه مستودعا باردا لانتزاع حرارة الهواء المجفف في المبادل الحراري . وبعدها يسخن بوساطة مجمع شمسي وسخانات كهربائية مساعدة ليستخدم في تنشيط مادة التجفيف فتحرير بخار الماء الممتز من الهواء المعامل.

قام Dunkle Close بتطوير منظومتي Dunkle و Lof حيث اقترحا دورتين مفتوحتين للتبريد بالطاقة الشمسية ، يجهز فيهما الهواء المعامل الى المنظومة من الحيز المكيف نفسه ، والدورتان تستخدمان المكونات الاساسية لمنظومتين 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 التنشيط . وقد درس *Lavan* و *Worek* هذا النوع من المنظومات ، وقد اقترحا منظومة تمتاز بان افرشة التجفيف فيها كانت على شكل شرائح عمودية رقيقة جدا من مشبك الثقلون الذي يحتوي بداخله على دقائق السليكا جل . وكانت افرشة التجفيف تبرد بدفق مستعرض . وتتكون المنظومة من مزيلين للرطوبة بقنوات مستعرضة لمرور هواء التبريد وثلاث مبردات تبخيرية ذات اللباد الرطب مع مبادلين حرارين. تعمل منظومة التبريد هذه بتناوب عمل كل من مزيلي الرطوبة بصورة دورية منتظمة. فمزيل الرطوبة الاول يمتز بخار الماء من الهواء المعامل ويبرد بدفق مستعرض من هواء المحيط الخارجي المبرد تبخيريا. وفي الوقت ذاته يتحرر بخار الماء الذي انتز في دورة سابقة من مزيل الرطوبة الثاني وتتم عملية تحرير بخار الماء بامرار تيار هواء ساخن بدرجة حرارة 60 °م المجهز من المجمعات الشمسية او أي مصدر اخر. بعد اتمام دورتي الامتزاز والتحرر وبفترة تتراوح ما بين 20 و 30 دقيقة ، فان الودنتين تتبادلان 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 الامتزاز ويبرد الاخر الذي اكمل عملية التحرر. ويتم ذلك بينهما بامرار هواء المحيط الخارجي خلال قنوات التبريد في الساخن فتتنزع حرارته المحسوسة . ويمرر الهواء بعد ذلك خلال قنوات مزيل الرطوبة الثاني لرفع درجة حرارته . وبعد اتمام هذه العملية يكون مزيلا الرطوبة جاهزين لاجراء عمليتي الامتزاز 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 يبادل الحرارة بين هواء اعادة التنشيط المطروح الى الخارج والهواء المجفف الى المجمع الشمسي لتسخينه ابتداءيا.

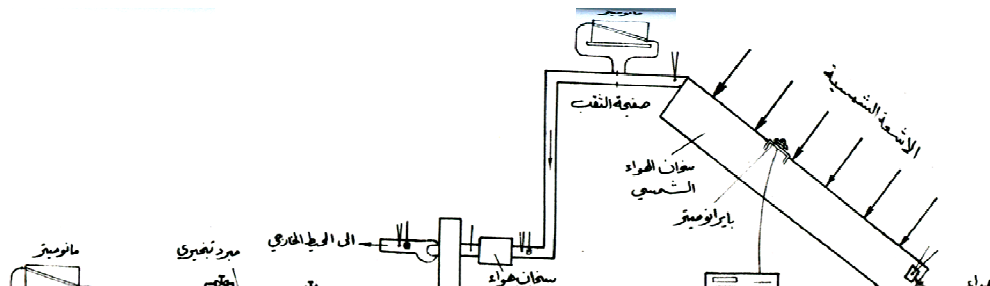




صنع ماضي في عام 1985 منظومة تكييف هواء امتزازية - تبخيرية مفتوحة تستخدم الطاقة الشمسية طاقة حرارية اساسية داخلية الى المنظومة . اضافة الى استخدام الطاقة الكهربائية كطاقة مساعدة في تدوير الهواء والماء وافرشة التجفيف وكذلك تجهيز الطاقة الحرارية لمسخن هواء مساعد عند عدم توفر الطاقة الشمسية الكافية لاعادة تنشيط افرشة التجفيف ، ويوضح الشكل (29-6) هذه المنظومة تجهز المنظومة بالهواء من المحيط الخارجي بوساطة مجرى هوائي معزول حراريا بالصوف الزجاجي . ويجفف هذا الهواء بامتزاز بخار الماء منه بوساطة مادة السليكا جل الحبيبية ، والمحشاة في قرص دوار مقسوم الى جزئين معزولين عن بعضهما . تجري في احدهما عملية الامتزاز بينما تجري في الثانية عملية اعادة تحرر بخار الماء الذي امتز في دورة تجفيف سابقة. لذلك فان افرشة السليكا جل تدور بين عمليتي الامتزاز واعادة التنشيط . ويقوم محرك كهربائي بتدوير هذا القرص . يخرج الهواء المعامل من مزيل الرطوبة جافا وبدرجة حرارة مرتفعة بسبب انطلاق

حرارة امتزاز بخار الماء ، وبوساطة مجرى مناسب يتم تجهيز الهواء المعامل الى مبادل حراري لانتزاع حرارته المحسوسة. حيث يستخدم ماء الاسالة كمستودع بارد لانتزاع حرارة الهواء المار حول انابيب الملف ذات الزعانف والتي يمر بداخلها ماء التبريد يبرد الهواء المعامل الى درجة حرارة بصله جافة تبلغ 8 0م فوق درجة حرارة البصلة الرطبة لهواء المحيط الخارجي. وبعدها يبرد الهواء المعامل تبخيريا بوساطة مبرد تبخيري يستخدم الحلقة المبللة بالماء الذي يتم التحكم بمعدل تدفقه بوساطة صمام يدوي . وبعد ذلك يجهز الحيز المراد تبريده بالهواء المعامل وبدرجة حرارة منخفضة لازالة حمل التبريد المطلوب.

اما هواء اعادة التنشيط فيجهز من سخان هواء شمسي اعد لهذا الغرض حيث يمر هواء المحيط الخارجي خلاله فيسخن. ويتكون السخان الشمسي من غطاء زجاجي مفرد ، وصفيحة امتصاص مثانة التضليع ، بزاوية تضليع مقدارها 60 درجة مصبوعة بطلاء اسود معتم يمر الهواء خلال المجاري التي تصنعها صفيحة الامتصاص المضلعة 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 صيفا و 40 درجة شتاء يخرج الهواء من السخان بدرجة حرارة معينة اعتمادا على شدة الاشعة الشمسية الساقطة وعلى درجة حرارة هواء المحيط الخارجي ومعدل تدفق الهواء خلال السخان . ويستخدم مجرى هواء مغلف بالصوف الزجاجي لتجهيز الهواء الساخن الى افرشة التجفيف في الجزء الذي تجرى فيه عملية تحرر بخار الماء من السليكا جل . حيث ان ارتفاع درجة حرارته يؤدي الى تحرر بخار الماء الذي امتزته في دورة سابقة وبذلك يعاد تنشيط مادة السليكا جل وتصبح جاهزة لدورة تجفيفية جديدة .



### منظومة التبريد المركبة تجفيف - امتزاز

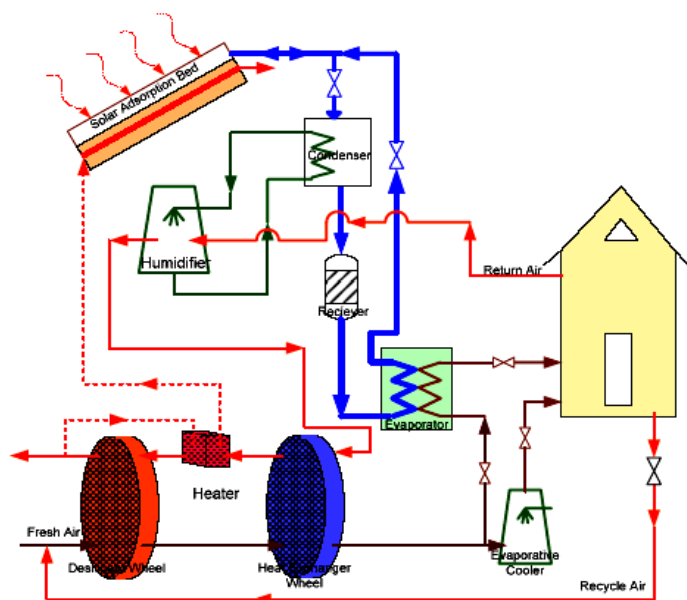
#### *The Combined Adsorption Desiccant refrigeration system*

هذه المنظومة اقترحت من قبل (Dai, Wang et al. (2002) الموضحة في شكل (30-6) وتتكون من ثلاثة انظمة فرعية هي التبريد الامتزازي المنقطع الصلب وازالة الرطوبة بالتجفيف ومخزن التبريد . ويستخدم الكاربون النشط والميثانول في المنظومة . درجة الحرارة المزيلة للامتزاز من مادة الامتزاز واعادة التنشيط لعجلات التجفيف تتراوح بين 80 - 100 ° م .

هذه المنظومة مخصصة لتبريد منتجات الحبوب . وعادة الحبوب تحرر رطوبة لذلك يجب ازالة رطوبة الهواء من مخزن الغلال. السليكا جل 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 البناية . خلال الليل فان الهواء المزال منه الرطوبة يكون مبرد في المبخر بواسطة منظومة الامتزاز الفرعية قبل دخوله الى مخزن الغلال .

يستخدم سخان كهربائي لتنشيط مواد التجفيف ويسيطر على رطوبة الهواء الداخل الى المخزن . ويساعد في عملية ازالة الامتزاز من المادة الممتزة. منظومة الامتزاز الفرعية تعمل بشكل متقطع وتحصل عملية ازالة الامتزاز عند توفر الطاقة الشمسية . سائل التبريد ( ميثانول ) يجمع في وعاء خلال عملية ازالة الامتزاز . وتحصل عملية

الامتزاز خلال الليل بينما الضغط ودرجة الحرارة للمادة الممتزة ينخفض بواسطة الحمل الطبيعي وإشعاع السماء.



**شكل (6-30): منظومة تبريد مركبة تحفیف - امتراز.**

## منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة ومنظومة التهوية

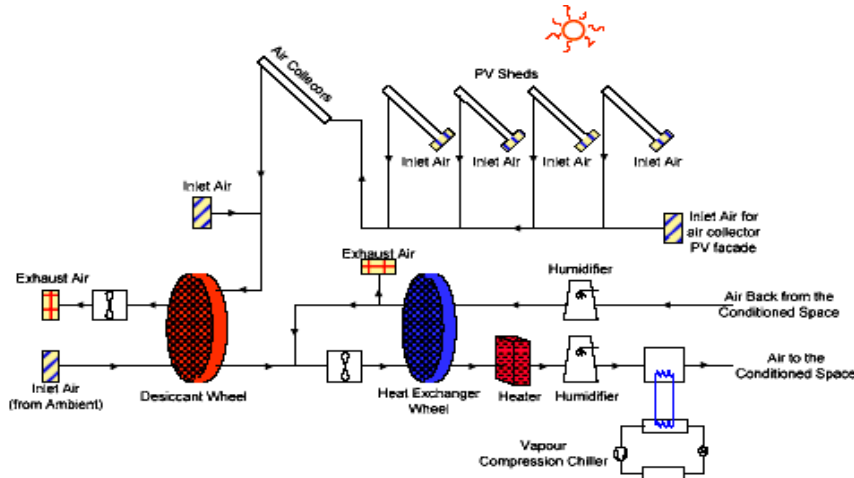
### *Solar- Driven Driven Desiccant Cooling System with Rotation Wheel Integrated with the Ventilation System (MEC System)*

هذه المنظومة تعمل بنظام تهوية بالزئوليت الطبيعي حيث يستخدم كمجفف . 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 الى سخان اضافي لتنشيط مادة

التجفيف عندما يكون الاشعاع الشمسي ضعيف وكذلك وجود مبرد مساعد مثل ماكينة انضغاط البخار كما هو موضح في شكل (6-31).

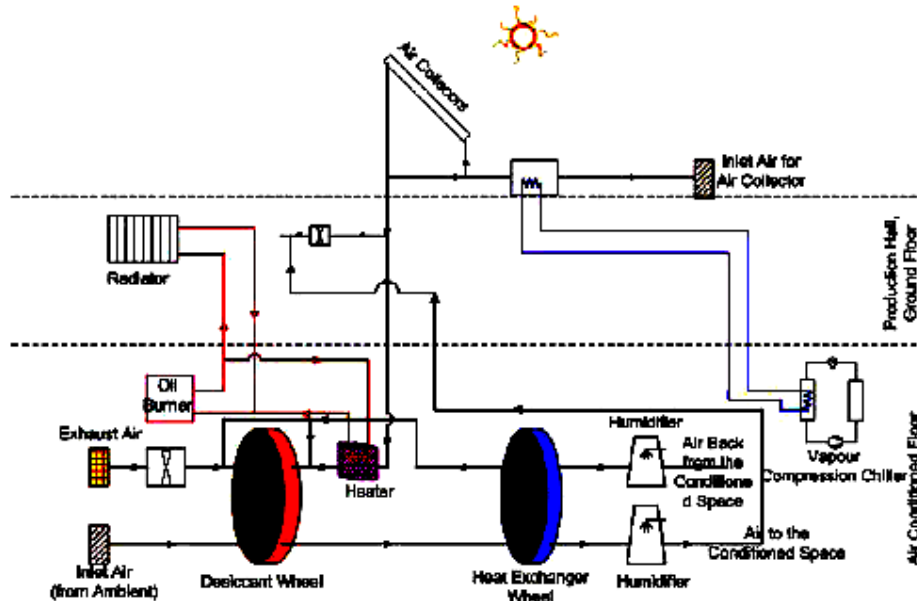
الهواء العائد من الحيز المبرد يمكن ان يعاد تدويره او يطرح خارجا اعتمادا على نوعية الهواء المطلوب لكل تطبيق. شكل (6-32) .

هنالك منظومة تجفيف ذاتية التحكم تعمل بالطاقة الشمسية تحتوي على السيليكا جل 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.



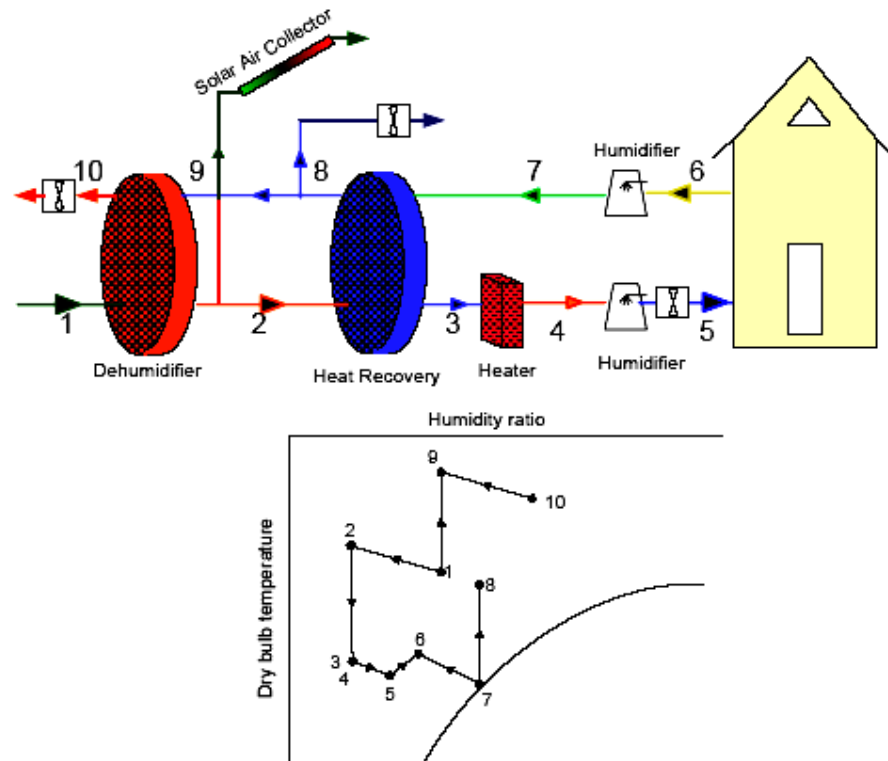
شكل (6-31): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة.

(Jakab et al..2003)



شكل (6-32): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة وبعاد

تدفيد الهواء (Eicker et al. 2003)



شكل (6-33): منظومة التبريد بالتجفيف الشمسي ذات العجلات الدوارة ذاتية التحكم. (Hindenburt *et al.*, 2004)