

الفصل العاشر

خزن الطاقة الشمسية Solar Storage

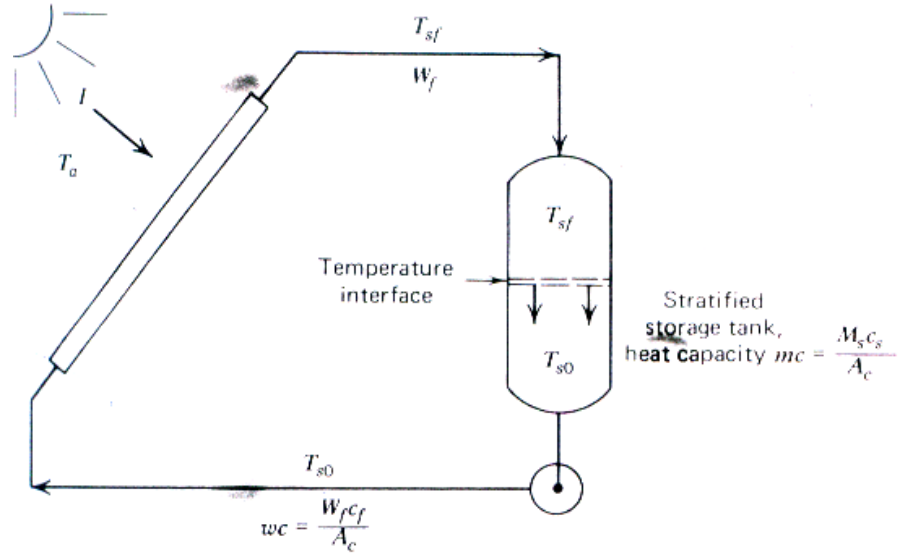
هنالك نوعين اساسيين للخزن في انظمة التسخين بالطاقة الشمسية هما:

1- الخزن على شكل طبقات *Stratified Store*

وهو اجباري في منظومات تسخين الهواء وغالبا يستخدم في منظومات الماء الساخن للاستهلاك المنزلي. عندما يعود الماء او الهواء الساخن من المجمع الشمسي فانه لا يختلط مع مائع اموجود بالقرب من فتحة الدخول للمجمع الشمسي. درجة حرارة المائع 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 (1-10).

وبهذه الطريقة يعود الماء المسخن في المجمع الى الجزء العلوي من الخزان وتبقى هنالك بسبب ان كثافته هي اقل من الماء الذي تحتته ، وعندما يكون هنالك اناء 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 ويذهب الى المجمع قيسخن 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 الاقطار القليلة وتكون متجانسة في الشكل ومغلقة بصورة جيدة وتلامس بعضها البعض من نقطة واحدة والحرارة المنقولة 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 الطبقي. (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 اكتساح 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 هنالك سيكون 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 الاتية:

$$q_T = F_i \tau \alpha T - F_i U_L (T_{so} - \bar{T}_a) t_T \dots \dots \dots (10-1)$$

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 الداخلة M_s من محتويات خزان الخزن الى درجة حرارة الخزن النهائية T_{sf} ، عند هذا الزمن الحرارة المتجمعة بالضبط تساوي الحرارة المطلوبة لرفع درجة الحرارة داخل الخزان الى درجة الحرارة عند المخرج وايضا تساوي الحرارة المستلمة بواسطة جريان المائع الى خزان الخزن فوق الفترة الزمنية t_s .

$$Q_T = M_s C_s (T_{sf} - T_{so}) = W_f C_f (T_{sf} - T_{so}) t_s \dots \dots \dots (10-2)$$

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 الاتية:

$$t_s = \frac{M_s C_s}{W_s C_f} = \frac{m_s c_s}{w_f c_f} \dots \dots \dots (10-3)$$

حيث $m_s c_s$ و $w_f c_f$ هي سعة الخزن ومعدل سعة جريان المائع على الترتيب بعد انتهاء فترة الوقت الاجمالي الاول ، وان درجة حرارة خزان الخزن الجديدة تحسب :

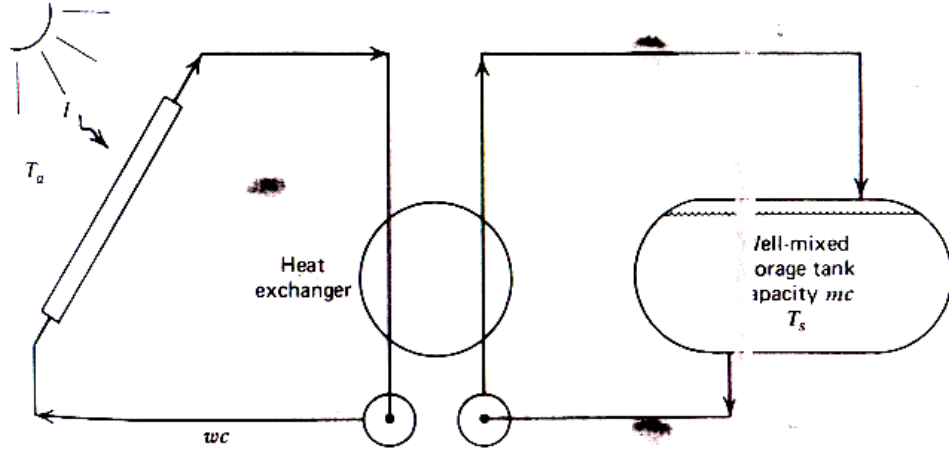
$$T_{sf} = T_{so} + \frac{q_T}{m_s c_s} \dots \dots \dots (10-4)$$

اذا كانت ظروف التشغيل غير ثابتة فتستخدم المجاميع المعتادة والمعادلات (10-1) و (10-2) حيث تعطي معدل درجة حرارة الخزن بحيث $I_T \leq t_s$.

2- الخزن بالخلط الجيد *Well-Mixed Storage*

تستخدم هذه الطريقة للسوائل فقط عندما حجم الماء في الخزان يكون مخلوط جيداً ، فان درجة حرارته تكون متجانسة وتميل للارتفاع ببطء كتسخينه خلال اليوم عند ارتفاع درجة حرارة الخزن فان الكفاءة تميل للانخفاض. شكل (10-2).

من هنا درجة حرارة الماء المخزون تميل الى الارتفاع بسرعة وبصورة مبكرة خلال فترة التجميع . الخزن المخلوط جيدا قد يبدو ليكون اقل كفاءة من الخزن بطريقة *Stratified* .



شكل (10-2): نظام الخزن بالخلط الجيد. (Lunde, 1985)

$$\bar{T}_s = \frac{T_{sf} + T_{so}}{2} \dots \dots \dots (10-5)$$

حيث T_{so} تمثل درجة حرارة الخزن الاولى و T_{sf} تمثل درجة حرارة الخزن النهائية.
درجة حرارة الخزن النهائية تكون مميزة حسب الاتي:

الحرارة المجمعة بواسطة المجمع = الحرارة المضافة الى الخزن

$$Q_T = MC(T_{sf} - T_{so}) \dots \dots \dots (10-6)$$

M تمثل كتلة السائل في الخزن وعند قسمة طرفي المعادلة على مساحة المجمع الشمسي ينتج:

$$q_T = mc(T_{sf} - T_{so}) \dots \dots \dots (10-7)$$

بعد استخراج T_{sf} من المعادلة (10-2) وتعويض الناتج بالمعادلة (10-5) ينتج :

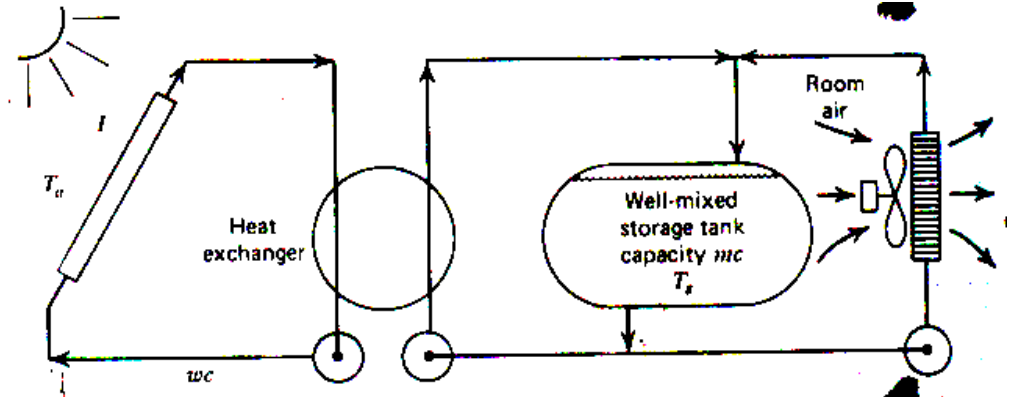
$$\bar{T}_s = \bar{T}_{so} + \frac{q_T}{2mc} \dots \dots \dots (10-8)$$

$$q_T = F_i [\tau \alpha I_T - U_L (T_s - T_a) t_T] \dots \dots \dots (10-9)$$

عند تعويض المعادلة (11-8) بالمعادلة (11-9) ينتج:

$$q_T = \frac{F_i [\tau \alpha I_T - U_L (T_{so} - T_a) t_T]}{1 + \frac{F_i U_L t_T}{2mc}} \dots \dots \dots (10-10)$$

ان المعادلة (10-10) لاتمثل حالة تطبيقية لتطبيقات الطاقة الشمسية لانها لا تأخذ بنظر الاعتبار مقدار الطلب على الحرارة المخزونة خلال فترة عمل المجمع الشمسي ويوضح الشكل (10-3) بانه سوف يحفظ درجة الحرارة تحت درجة حرارة الخزن بقليل ليسمح باضافة حرارة بنسبة قليلة .



شكل (10-3): نظام الخزن الطبقي مع مبادل حراري. (Lunde, 1985)

الطلب يمكن ان يكون متضمن اشتقاق بديل بمتغير جديد . الحرارة المجمعة الصافية تعطى من خلال المعادلة الاتية:

$$q_N = q_T - I_T \dots \dots \dots (10-11)$$

I_T هو الطلب معبرا 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 كالاتي:

$$\bar{T}_s = T_{so} + \frac{q_N}{2mc} \dots \dots \dots (10-12)$$

لذلك فان الحرارة الصافية المتجمعة تعطى بالمعادلة الاتية:

$$q_N = \frac{F_i [\tau \alpha I_T - U_L (T_{so} - T_a) t_T]}{1 + \frac{F_i U_L t_T}{2mc}} \dots \dots \dots (10-13)$$

يمكن التنبأ بارتفاع درجة حرارة الخزن خلال اليوم وكالاتي:

$$\bar{T}_{sf} = \bar{T}_{so} + \frac{q_N}{mc} \dots \dots \dots (10-14)$$

هنالك طرق تقليدية لخزن الطاقة الشمسية مثل استخدام طريقة المثعب الحراري *Thermosyphone* . وكذلك استخدام طبقة من جسيمات صلبة *packed bed 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 انابيب مصنوعة من مادة لدنة مطلية بطلاء اسود قطر كل منهما 0.2 م . يوضع الماء المراد تسخينه في الصباح ويسخن بواسطة الطاقة الممتصة من الشمس . ويكون معزول بواسطة الصوف الزجاجي ويغطي من الاعلى بغطاء شفاف.

هنالك نوع اخر يكون على هيئة خزان متغير العمق يسمى الحوض البسيط للتجميع والخزن في ان واحد. كما مبين في شكل (10-4) . ويمتاز هذا النوع من المجمعات بعدم وجود صفيحة امتصاص، حيث يقوم الماء الموضوع داخله بعملية 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.

هنالك سخان ماء شمسي بشكل وسادة لدنة سعته 240 لتر من الماء . ويصنع الجهاز من غطاء شفاف محيطاً بتراكيب حديدية منحنية معطيا شكلا يماثل الوسادة. ويوجد نوع مطور 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).

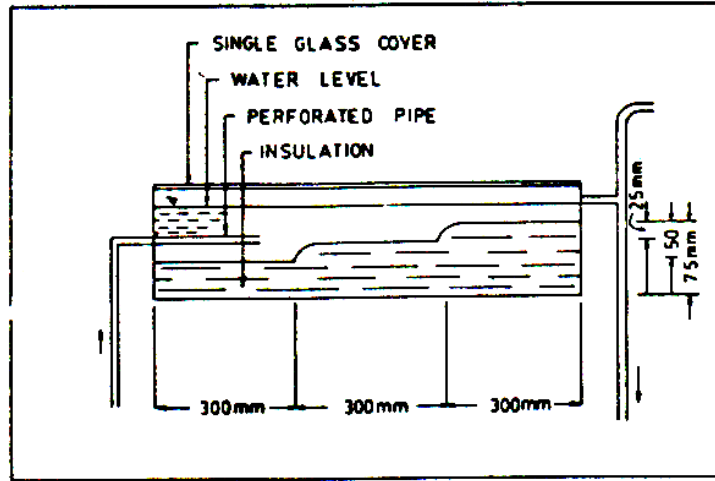
يبين الشكل (10-6) مجمع شمسي على هيئة خزان مستطيل الشكل ويشمل على غطاء زجاجي . وانه كلما زاد العمق انخفضت درجة الحرارة وازدادت الكفاءة. والعمق الافضل لهذا الجهاز هو 10 سم.

هنالك نوع اخر يتكون من انبوب مصنع 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 للخرن في حالة غياب الشمس. وكذلك يستخدم الطابوق والرمل والكونكريت كبدائل للتربة.

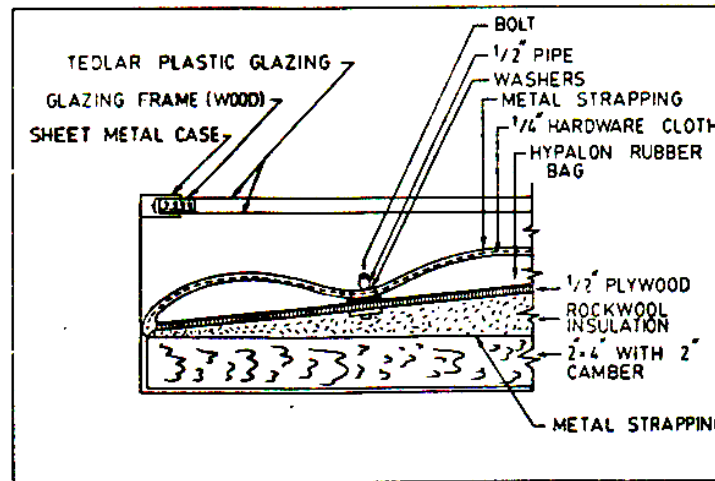
يوضح الشكل (10-7) استخدام صفيحة امتصاص مصنوعة من النحاس مثبت فوقها عدد من الانابيب النحاسية حيث يتصل كل انبوب بالخران بواسطة فتحتين احدهما لدخول الماء والاخرى لخروجه. ويتطلب الجهاز استعمال منظم للسيطرة على عملية دخول الماء الى الانابيب وكذلك للتغلب على عملية الجريان العكسي. استخدمت طبقة من مادة شفافة ومسامية وتمتاز بعدة مواصفات ، منها انها تتربط 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).

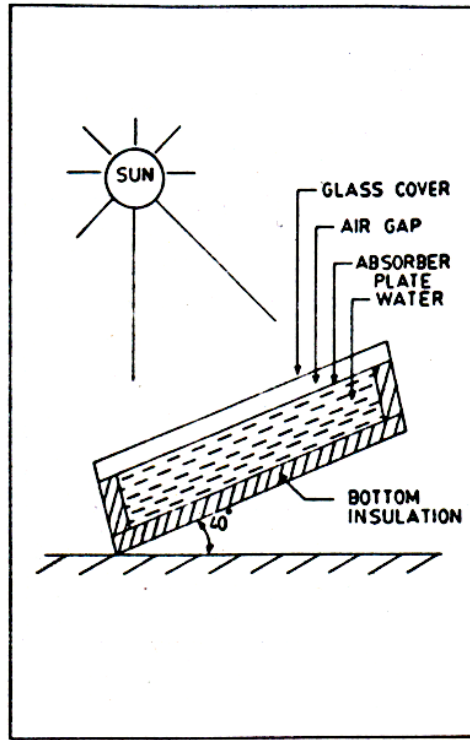
كما استخدمت مواد مثل كرات صلدة ومجوفة ، وشبكات منخلية معدنية كمواا امتصاص في مجمع شمسي افقي. اذ يضخ الماء بواسطة مضخة صغيرة خلال هذا المجمع . يعتبر الماء في هذه الحالة سطح امتصاص للاشعة الشمسية ذات الاطوال الموجية العالية وخصوصا في مدى الاشعة تحت الحمراء كذلك يمتص الاشعاع الحراري من مواد الحشو. ان الاشكال من (10-4) الى (10-10) مذكورة في(مرزوق،1985).



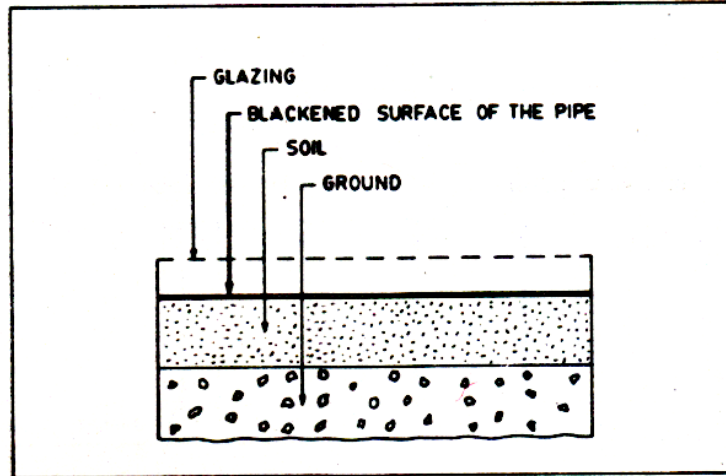
شكل (10-4): الحوض البسيط للتجميع والحرز في ان واحد.



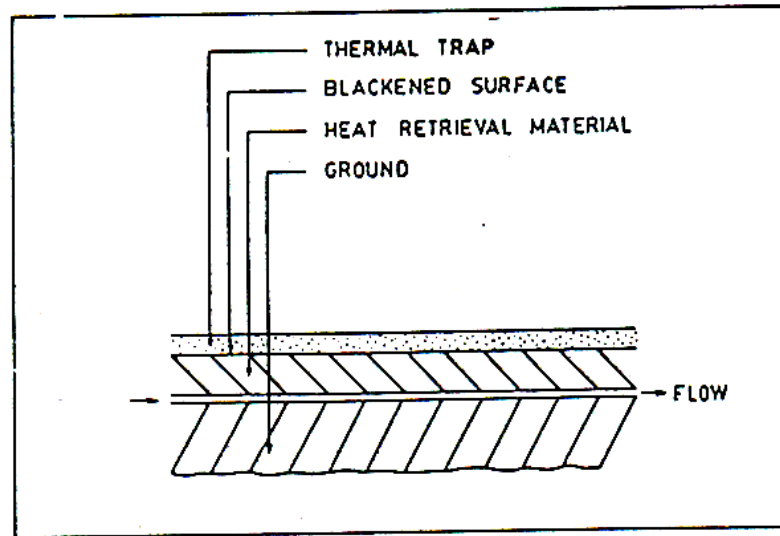
• شكل (10-5): سخان ماء شمسي بشكل حقبة لدنة لحرز الطاقة.



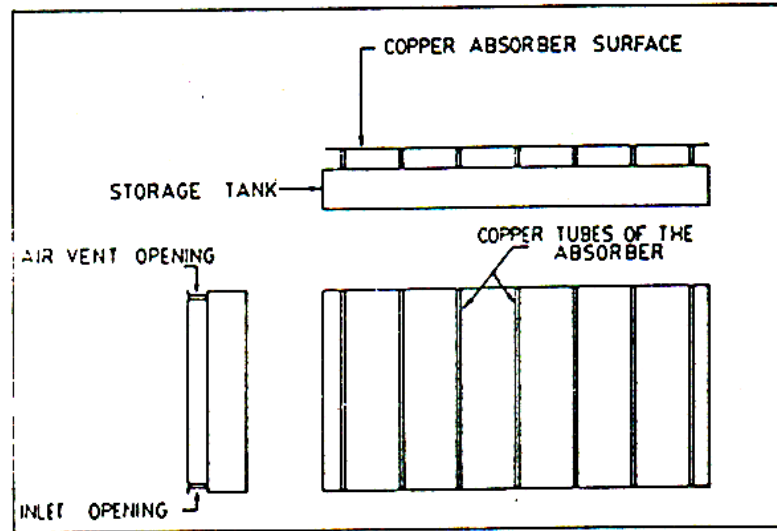
شكل (10-6): سخان ماء شمسي بشكل خزان مستطيل الشكل.



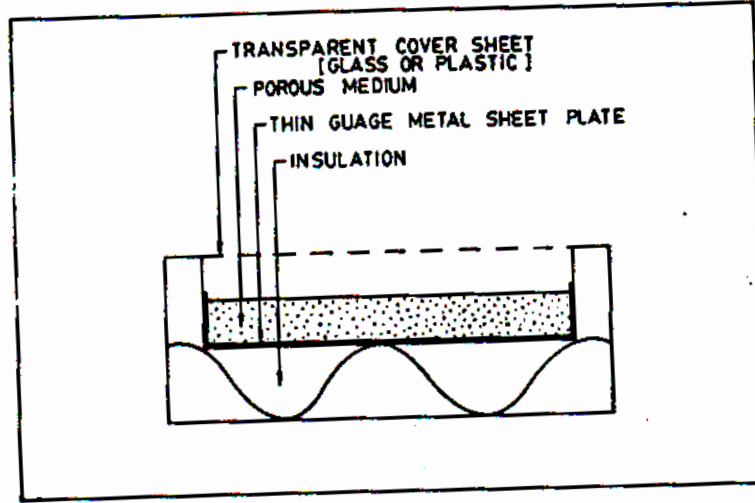
شكل (10-7): استخدام التربة كوسط للتجميع والخزن في ان واحد.



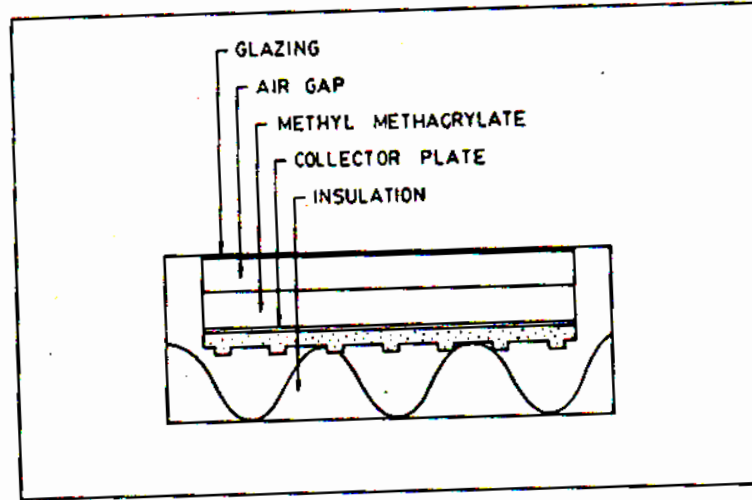
شكل (10-8): استخدام الطابوق والكونكريت كوسط للتجميع والخزن في ان واحد.



شكل (10-9): استخدام الخزان الاعتيادي وانابيب نحاسية.



شكل (10-10): استخدام الوسط المسامي لتجميع وخزن الطاقة.



شكل (10-11): استخدام مادة ميثايل ميثاكر ايليت فوق صفيحة الامتصاص الاعتيادية.

هنالك جهاز لتجميع وخزن الطاقة الشمسية باستخدام الطبقة الحصوية يتكون من مجمع شمسي يحتوي على خزان من الحديد المغلون قياس 18 حجمه 0.15 م³

واستخدام الحصى والماء . ولغرض توزيع الحصى بالتساوي فقد صنع هيكل حديدي مستطيل الشكل من قضبان حديدية خفيفة وصغيرة القطر نسبيا بأبعاد تقل قليلا عن الأبعاد الداخلية للخزان بحيث يمكن تركيبه بسهولة بداخله . الهيكل الحديدي مقسم الى ثلاثة اقسام بواسطة قضبان حديدية عرضية وضع بينها طبقتان من مشبك معدني قياس 0.5 انج وذلك لحماية الخزان من ثقل الحصى ومنع الاخير من التجمع عند المنطقة السفلية من الخزان عند امالة المجمع بزوايوه معينة ، ووضع الخزان داخل الصندوق الخشبي . بلغت مساحة سطح الامتصاص 1.76 م² . وعزل الخزان من الاسفل بالصوف الزجاجي.

تكتب معادلة الاتزان الحراري للمجمع التي من خلالها 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.

$$I_T (\tau_g \alpha_p)_e F_{sh} F_d A_a = [V_t e \rho_w C_w (T_{wf} - T_{wi}) + V_t \rho_s (1-e) C_s (T_{sf} - T_{si}) + m_c C_c (T_{cf} - T_{ci})] \frac{1}{\Delta \tau} + U_L (T_p - T_a) A_a \dots \dots \dots (11-14)$$

وتصبح المعادلة في حالة عدم استخدام مادة الحشو (ماء فقط) كالآتي:

$$I_T (\tau_g \alpha_p)_e F_{sh} F_d A_a = [m_w C_w (T_{wf} - T_{wi}) + m_c C_s (T_{sf} - T_{si}) + m_c C_c (T_{cf} - T_{ci})] \frac{1}{\Delta \tau} + U_L (T_p - T_a) A_a \dots \dots \dots (10-15)$$

حيث ان:

I_T : الاشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع (واطام²)

$(\tau_g \alpha_p)_e$: حاصل ضرب الانفاذية الامتصاصية الفعال

F_{sh} : معامل الظل وقيمهته 0.97

F_d : معامل الغبار وقيمهته 0.98

A_a : مساحة سطح الامتصاص (م²)

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 (واط/م².°م)

T_w : درجة حرارة الماء (°م)

T_{wf} : درجة حرارة الماء النهائية (°م)

T_{wi} : درجة حرارة الماء الابتدائية (°م).

T_s : درجة حرارة الحصى (°م).

T_{sf} : درجة حرارة الحصى النهائية بعد انقضاء فترة زمنية مقدارها $\Delta\tau$ (°م).

T_{si} : درجة حرارة الحصى الابتدائية (°م).

T_c : درجة حرارة اسفل الخزان (°م).

T_{cf} : درجة حرارة اسفل الخزان النهائية بعد انقضاء فترة زمنية مقدارها $\Delta\tau$ (°م).

T_{ci} : درجة حرارة اسفل الخزان الابتدائية (°م).

C_c : الحرارة النوعية لمادة الخزان (كج/كغم.°م).

C_c : الحرارة النوعية للماء (كج/كغم.°م).

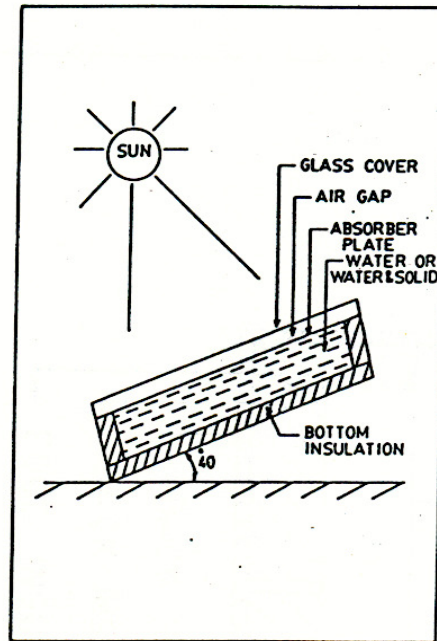
C_c : الحرارة النوعية للحصى (كج/كغم.°م).

T_p : متوسط درجة حرارة صفيحة الامتصاص (°م).

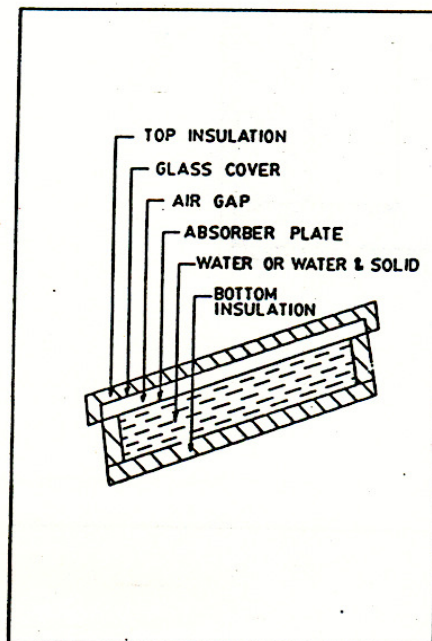
T_a : درجة حرارة الجو (°م).

p_w : كثافة الماء (كغم/م³).

p_s : كثافة الحصى (كغم/م³).



شكل (10-12): استخدام المجمع الشمسي المستخدم
للخزن نهارا. (مرزوق، 1985)



شكل (10-13): استخدام المجمع ليلا بعد تغطيته
بطبقة عازلة. (مرزوق، 1985)