مجلـة جامعـة تشرين للدراسـات والبحـوث العلمية
المجلـد ٥ - العـدد ٤ مـن ٤٩ إلـى ٥٨

ربيع الأول ١٤٠٣هـ
كانون الأول ١٩٨٢م

تخزين الطاقة الشمسية

الدكتور نبيل البزرة
كلية العلوم

ساهم الارتفاع في أسعار البترول ومشتقاته في إدراك الانسان لأهمية الطاقة الشمسية كمصدر بديل للطاقة ، وتتميز الطاقة الشمسية بأنها مجانية ولا تنضب ، وقد تركز الاهتمام على استخدامها في أغراض التدفئة والتبريد بشكلٍ خاص نظراً للتوفير الكبير في المحروقات البترولية الذي ينشأ عن استخدامها ونظراً لأن تقنية التدفئة والتبريد قد أصبحت معروفة نظرياً وهندسياً بشكلٍ جيد .

يعتمد مبدأ التدفئة باستخدام الطاقة الشمسية على تسخين مادة ما مثل الماء أو الهواء في المجمِّع الشمسي ويستخدم الماء أو الهواء الساخن لتدفئة المنزل . وقد كتب كثيراً عن تصميم المجمعات الشمسية وسوف نهتم في هذه المقالة بطرق تخزين الطاقة الشمسية .

أهمية تخزين الطاقة الشمسية :

يتعلق تصميم شبكة التدفئة بكمية الاشعاعات الشمسية الواردة وبتوزعها خلال فصول السنة . ففي البلاد الأوروبية الشمالية قد تكون كمية الاشعاعات الشمسية كافية لاغراض التدفئة خلال فصل الصيف ولكنها غير كافية بشكلٍ عام في فصل الشتاء حيث تكون الاشعاعات قليلة وحين تصل درجات الحرارة الى ما تحت الصفر . ويستدعي ذلك استخدام وسيلة إضافية للتدفئة تعتمد على الوقود البترولي غالباً لتدعيم عمل شبكة التدفئة الشمسية ، وينشأ عن ذلك توفير معتبر في كمية الوقود المستخدم للتدفئة .

تتميز بلادنا بوجود فصل الصيف حيث تكون كمية الاشعاعات الشمسية الواردة كبيرة جدا ولا يوجد حاجة للتدفئة خلال هذا الفصل (على العكس من ذلك هناك مجال لاستخدام الطاقة الشمسية للتبريد خلال هذا الفصل) وتوجد الحاجة للتدفئة خلال القسم الباقي من السنة والذي يتميز بورود كمية جيدة من الطاقة الشمسية تكون متقطعة بفترات زمنية تكون فيها السماء غائمة . ولذلك يجب أن يحتوي المنزل الذي يعتمد في تدفئته على الطاقة الشمسية على وسيلة ما لتخزين الحرارة لاستعمالها في الأوقات التي تشتد فيها الحاجة الى التدفئة أو الأوقات التي تكون الشمس فيها محجوبة . ويستخدم اسلوبان في تخزين الطاقة الشمسية ، ويتم في الاسلوب الاول تخزين الحرارة لفترة زمنية طويلة ويسمى هذا الاسلوب بالتخزين الفصلي وتخزن الحرارة في الاسلوب الثاني لفترة قصيرة ، وسنبين الآن محاسن ومساوىء الاسلوبين .

التخزين الفصلي

يتم في التخزين الفصلي تخزين الحرارة خلال فصل الصيف حيث تكون الأشعة الشمسية كثيرة وتستخدم الحرارة المختزنة لسد احتياجات التدفئة خلال فصل الشتاء . وتكمن أهم ميزة لهذه الطريقة في إمكانية تخزين كمية من الحرارة خلال فصل الصيف كافية للتدفئة خلال فصل الشتاء بكامله ، كما تؤدي الكمية الكبيرة من الاشعاعات الشمسية الواردة خلال فصل الصيف إلى الوصول الى درجات حرارة مرتفعة في المجمع الشمسي ويؤدي ذلك إلى رفع درجة حرارة الخزان أيضاً مما يقلل من حجم الخزان اللازم . وعلى الرغم من هذه المميزات فسوف تعمل المجمعات الشمسية عند درجة حرارة منخفضة خلال الشتاء وخاصة خلال الايام الغائمة ولذلك تكون الحرارة المجمعة خلال هذه الفترات غير صالحة لاعادة شحن الخزان إذ أن إضافة ماء فاتر إلى كمية من ماء ذو درجة حرارة مرتفعة تؤدي إلى تخفيض درجة الحرارة الكلية . ويعني ذلك ان هذا الاسلوب في التخزين يتطلب أن يعمل

المجمع الشمسي خلال فصل الصيف فقط أو يستدعي استخدام خزان آخر يوصل مع المجمع الشمسي خلال فصل الشتاء لتجنب مزج الماء الفاتر الوارد من المجمع خلال فصل الشتاء مع الماء الساخن الموجود في الخزان منذ فصل الصيف . وتسبب مضاعفة التجهيزات الى زيادة الكلفة الاجمالية لشبكة التدفئة كما تعني أن جزءا من المنزل يبقى محتوياً على خزان لا يستعمل الا لفترة عدة أشهر و تتطلب هذه الطريقة في التخزين استخدام كمية كبيرة من مادة ما مثل الماء أو الصخور لتخزين الحرارة بالاضافة الى الوعاء اللازم لوضع هذه المادة كما تتطلب أيضاً عزل الخزان حرارياً ، ويجب توفير المكان اللازم لانشاء الخزان ضمن المنزل . وقد أدت جميع هذه المساوىء إلى ابقاء عدد الخزانات الفصلية المستخدمة في جميع أنحاء العالم محدوداً حتى الآن . وربما تؤدي الزيادة المستمرة بأسعار الوقود إلى إعادة النظر باقتصاديات هذه الطريقة وقد تجعلها منافسة للطرق الأخرى .

التخزين القصير الأمد :

انصب الاهتمام في جميع أنحاء العالم على أسلوب تخزين الطاقة الشمسية القصير الأمد ، حيث يستمر المجمع الشمسي في العمل خلال فصل الشتاء وتحتوي معظم شبكات التدفئة التي تم بناؤها حتى الآن على وسائل إضافية للتدفئة تعمل على الوقود بالاضافة الى التخزين القصير الأمد . ويجب مقارنة تكاليف الخزان اللازم لتأمين جميع متطلبات التدفئة خلال أطول فترات الطقس الغائم الممكنة الحدوث مع تكاليف التدفئة الاضافية باستعمال الوقود لتقرير فيما اذا كان بناء الخزان الحراري اقتصادياً أم لا .

يمكن في بلادنا تصميم شبكة تدفئة تعمل بشكل كامل على الطاقة الشمسية باستعمال خزانات كافية ، فقد أمكن على سبيل المثال بناء منزل[1] يستخدم اسلوب التخزين القصير الأمد وأمكن تأمين التدفئة اللازمة للمنزل خلال عشرة أيام متواصلة حين كانت السماء غائمة باستخدام حجم كبير من الماء والصخور .

يتعلق حجم الخزان اللازم بكمية الاشعاعات الشمسية الواردة وبفترات غياب الشمس ، ويمكن الاكتفاء في حالة المناخ الصحراوي حيث تحدث فروقات كبيرة في درجات الحرارة بين النهار والليل باستعمال خزان صغير الحجم يكون كافياً لتخزين الطاقة المجمعة خلال النهار لاستعمالها في تدفئة المنزل خلال الليل . وقد تحتاج شبكة التدفئة إلى كمية قليلة من التدفئة الاضافية باستخدام الوقود خلال الأيام الغائمة .

مواد تخزين الحرارة :

إن المواد الشائعة الاستعمال لتخزين الحرارة هي الماء وقطع الصخور ، وقد تمت محاولات لاستخدام مواد أخرى تستطيع تخزين الحرارة اعتماداً على التفاعلات الكيميائية او

تغيرات الطور التي تحدث في بعض المواد بتأثير الحرارة . ويجب عند مقارنة المواد المستخدمة في التخزين أخذ عدة عوامل بعين الاعتبار مثل كلفة المادة وكلفة الأوعية اللازمة لها وكلفة وسهولة عزل الخزان وطريقة نقل الحرارة من المجمع الشمسي الى الخزان ومن الخزان إلى البيت بالاضافة إلى فعالية المادة في تخزين الحرارة ، ويظهر عند اعتبار جميع هذه العوامل أن الماء يبقى أفضل مادة لتخزين الحرارة حتى اليوم .

تبلغ السعة الحرارية للماء $1 cal\ g^{-1}c^{-1}$ أي انه يخزن كمية من الحرارة في واحدة الحجم أكبر بكثير من كمية الحرارة التي تخزنها واحدة الحجم من الصخور أو الرمال (انظر جدول١) والماء مادة رخيصة الثمن وينسجم استخدامه كمادة للتخزين مع شبكة التدفئة الشمسية التي تستخدم الماء لتجميع الطاقة في المجمع الشمسي . ومع ذلك فإن خزانات الماء مكلفة نسبياً وخصوصاً عند الحاجة إلى خزانات كبيرة الحجم ، وتتشكل تيارات حملان عند تغذية الماء المسخن في المجمع الشمسي الى الخزان المائي وتؤدي هذه التيارات إلى زيادة التسرب الحراري من الخزان مما يتطلب زيادة التكلفة لعزل الخزان حرارياً بشكلٍ جيد . يمكن التخفيف من التسرب الحراري بإضافة الماء الساخن القادم من المجمع إلى أعلى الخزان وبسحب الماء البارد من أسفل الخزان لتغذية المجمع الشمسي ، كما يمكن وضع حواجز ضمن الخزان لمنع تيارات الحملان .

ينسجم استعمال القطع الصخرية في تخزين الحرارة مع شبكات التدفئة التي تستعمل الهواء في تجميع الطاقة الشمسية . ويختزن خزان يحتوي على قطع صخرية كمية من الحرارة أقل من خزان مائي له نفس الحجم بسبب أن السعة الحرارية للصخور أصغر من السعة الحرارية للماء وبسبب الفراغات التي تبقى بين الصخور عند وضعها في الخزان . وتبلغ هذه الفراغات في أحسن الحالات حوالي 30% من الحجم الكلي للخزان وتبلغ عملياً حوالي 40% . وعلى الرغم من هذه المساوىء فإن اهم ميزة لهذه الطريقة في التخزين هي ان المسافة التي يقطعها الهواء منذ دخوله وحتى خروجه من الخزان تكون طويلة بسبب التعرج الناشىء عن الفراغات العشوائية المتشكلة بين الصخور ويكون سطح التبادل الحراري بين الهواء والصخور كبيراً . وتتميز هذه الطريقة أيضاً برخص ثمن القطع الصخرية ، كما أن الحرارة لاتتوزع بشكل متجانس في جميع انحاء الخزان اذ ان الهواء الساخن الداخل من أعلى الخزان يسخن ذلك الجزء من الخزان القريب من فتحة دخول الهواء وتكون درجة حرارة الهواء الخارج من اسفل الخزان مساوية لدرجة حرارة الجزء السفلي من الخزان .

يظهر الشكل[1] طريقة عمل خزان القطع الصخرية بشكل مفصل .

تسخين الخزان

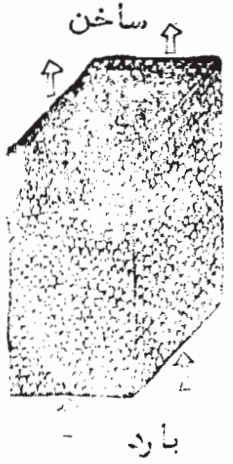
يسخن الهواء الداخل الى الخزان القسم الأعلى من القطع الصخرية ويترك القسم السفلي وتكون درجة حرارته مساوية لدرجة حرارة القطع الصخرية الابتدائية ، ويتحرك الحد الأسود الذي يمثل الحد الساخن والبارد في الخزان نحو الاسفل مع استمرار التسخين .

تسخين الخزان

تبدأ درجة حرارة الهواء الذي يترك أسفل الخزان بالارتفاع عند وصول الحد الأسود الى أسفل الخزان والذي يدل على امتلاء الخزان .

يجب تأمين أوعية لوضع القطع الصخرية وهي أرخص بشكلٍ عام من الخزانات المائية بسبب أنها لا تتطلب أن تكون محكمة الاغلاق ، ومن جهة أخرى يجب أن يكون حجم الخزان عند استعمال هذه الطريقة أكبر من حجم خزان مائي له نفس السعة الحرارية .

يظهر الجدول (١) السعات الحرارية لبعض المواد المستخدمة لتخزين الطاقة الحرارية مثل البيتون وخراطة المعادن . وعلى الرغم من أن كثافة هذه المعادن أكبر من كثافة الصخور بحيث تخزن كمية أكبر من الحرارة في واحدة الحجم فإن كلفتها أعلى بشكلٍ عام من الصخور .



تدفئة المنزل

يدخل الهواء البارد من المنزل الى أسفل الخزان وتكون درجة حرارته عند خروجه من أعلى الخزان مساوية تقريباً لدرجة حرارة القطع الصخرية في أعلى الخزان والتي تساوي تقريباً درجة حرارة الهواء المستخدم في شحن الخزان ، ولذلك تبقى درجة حرارة الهواء المستخدم في التدفئة مرتفعة حتى عند امتلاء نصف الخزان بالحرارة .

شكل رقم (١)

جدول (١)

المادة	السعة الحرارية النوعية kcal $kg^{-1}c^{-1}$	الكثافة $kg\,m^{-3}$	السعة الحرارية حسب نسبة الفراغات $kcal\,m^{-3}\,c^{-1}$		
			لافراغات	30%	40%
الماء	1.0	1000	1000	1000	1000
خراطة حديد	0.11	7848	881	609	529
خراطة المنيوم	0.22	2720	577	400	352
بيتون	0.27	2242	609	416	368
صخور	0.21	2883	593	416	352
بلوك البناء	0.20	2242	449	320	272

الطرق الكيميائية في تخزين الطاقة الحرارية

تمت أبحاث كثيرة لتطوير طرق كيميائية لتخزين الطاقة الحرارية في محاولة لانقاص حجم الخزان وبالتالي حجم المكان اللازم له في المنزل .

تعتمد الطرق الكيميائية في التخزين على استعمال مواد كيميائية يحدث فيها تغير في الطور عند امتصاص الحرارة وتنتشر الحرارة عند عكس هذا التغير ، وقد درست كبريتات الصوديوم المائية $Na_2SO_4.10H_2O$ وفوسفات الصوديوم المائية $Na_2HPO_4.12H_2O$ بشكل واسع . وتحدث التفاعلات التالية عند امتصاص هذه المواد للحرارة .

$$Na_2SO_4.10H_2O \longrightarrow Na_2SO_4 + 10H_2O$$

$$Na_2HPO_4.12H_2O \longrightarrow Na_2HPO_4 + 12H_2O$$

تبلغ كمية الحرارة الممتصة خلال التفاعل الأول $58\ kcal\ kg^{-1}$ ويحدث عند الدرجة $33c^\circ$ ، ويحدث التفاعل الثاني عند الدرجة $36c^\circ$ وتبلغ كمية الحرارة الممتصة $63\ kcal\ kg^{-1}$. ويحدث التغير في الطور في هذه التفاعلات بسبب نزع ماء التبلور .

تستخدم هذه المواد في خزن الطاقة الحرارية بوضعها في خزان مجهز بأنابيب يمرر فيها الهواء أو الماء الساخن القادم من المجمع الشمسي والذي يجب أن تكون درجة حرارته أعلى من الدرجة $33c^\circ$. ويؤدي امتصاص الحرارة إلى تحويل الملح المائي إلى ملح لا مائي وماء ، ثم يمرر الهواء أو الماء البارد من المنزل والذي تكون درجة حرارته أقل من $33c^\circ$ في أنابيب الخزان مما يؤدي إلى تبريد الملح وعكس التفاعل وانتشار الحرارة التي يمتصها الماء أو الهواء وتستخدم في تدفئة المنزل .

استخدمت هذه الطريقة لتخزين الحرارة في أحد المنازل حيث بلغت مساحة المجمع (2) الشمسي $69m^2$ وكانت كمية الملح الكلية المستعملة 21 طن وضعت في خزان

حجمه 13m3 وقد حسبت هذه الكمية بحيث تكون كافية لسد احتياجات التدفئة في الشتاء ولمدة 12 يوماً . وقد عملت الشبكة بشكل يتوافق مع الحسابات النظرية خلال الشتاء الأول وظهر في الشتاء الثاني انخفاض في فعالية الخزان بعد عدة دورات من الاستعمال إذا اتضح أن الملح لا يستطيع امتصاص وإعطاء الكمية النظرية من الحرارة . ويمكن تفسير هذا الانخفاض في الفعالية على الشكل التالي :

يتحول الملح المائي عند الدرجة 33c° إلى ملح لا مائي وماء وينحل جزء من الملح اللامائي الناتج في الماء لتشكيل محلول مشبع ، وتكفي كمية الماء المتحررة من التفاعل لحل نصف كمية الملح اللامائي وتترسب الكمية الفائضة من الملح اللامائي في أسفل الخزان . ويتحد الجزء الموجود على تماس مباشر مع الماء لتشكيل الملح المائي من جديد عند تبريد المحلول المشبع وينتج من ذلك الحصول على نصف كمية الحرارة فقط إلا إذا تم تحريك المزيج لجعل الملح المترسب على تماس مع الماء .

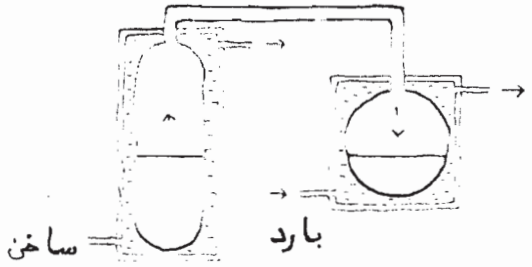
تمت محاولات عديدة للتخفيف من الترسيب وذلك باستعمال خزانات قليلة العمق تعمل على زيادة سطح التماس بين الماء والملح اللامائي ولكن ذلك يزيد من كلفة الخزان . أما الطريقة الأخرى التي تجري عليها الدراسات فتهدف لايجاد وسيلة لابقاء الملح اللامائي بشكل معلق غروي في المحلول المشبع .

تنشأ الصعوبة الأخرى عند استعمال هذه الطريقة ، من ظاهرة فوق التبريد . فيستطيع محلول مشبع من ملح في الماء أن يبرد إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة التبلور ودون حصول التبلور ، ويتم التبلور عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة التبلور النظامية باستمرار التبريد . وتشكل هذه الظاهرة صعوبة كبيرة عند استخدام الأملاح في تخزين الحرارة بسبب أن إمرار الهواء أو الماء البارد من المنزل ضمن أنابيب الخزان قد لا يكون كافياً لخفض درجة حرارة المحلول المشبع الى الدرجة المطلوبة لبدء التبلور . ويمكن عادة تحريض التبلور بإضافة بلورات صغيرة إلى المحلول المشبع ، ولكن ذلك يؤدي إلى تعقيدات في تصميم واستعمال الشبكة ويضاف إلى ذلك أن ظاهرة فوق التبريد ظاهرة عشوائية قد تحدث خلال دورة ما وقد لا تحدث .

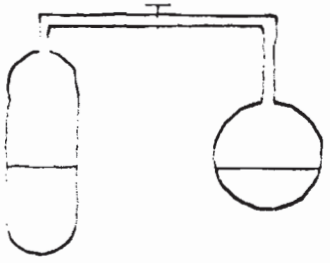
اقترحت عدة طرق كيميائية أخرى لتخزين الطاقة الحرارية تعتمد على حرارة الانصهار أو حرارة الانحلال أو حرارة التبخر أو حرارة التفاعلات الكيميائية . كمثال على هذه الطرق نذكر طريقة التخزين التي تعتمد على امتصاص الحرارة الذي يرافق تحول سائل إلى بخار والحرارة الناتجة عند انحلال مادة في مادة أخرى . فعند تسخين محلول مركز من حمض الكبريت والماء يتبخر الماء الذي يتكاثف بواسطة الهواء أو الماء البارد في وعاء ثاني ، ويؤدي تبريد الجزء الباقي من حمض الكبريت فيما بعد إلى انخفاض الضغط في وعاء حمض

الكبريت ويمكن بواسطة صمام موجود بين الوعائين جعل الماء يعود إلى الوعاء الأول والانحلال في حمض الكبريت من جديد ناشراً حرارة تبخره بالاضافة إلى حرارة انحلاله في حمض الكبريت والتي تبلغ $530\ kcal\ kg^{-1}$. يظهر الشكل (2) هذه الطريقة بشكلٍ مفصل .

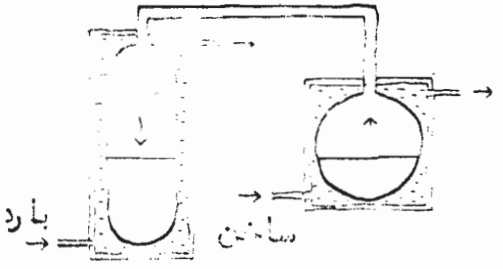
أجريت دراسات على مواد جديدة يتم فيها تغير في الطور للتخفيف من مشاكل الترسيب وفوق التبريد والتأكل التي ترافق استعمال المواد المذكورة ، واقترحت الشموع العضوية ولكن كلفة وخطر اشتعال هذه المواد قد حدَّ من استخدامها حتى الآن .



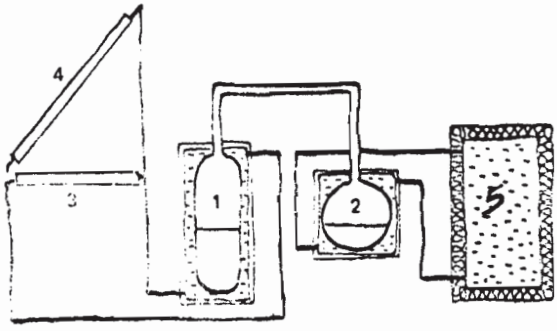
يمرر الماء الساخن القادم من المجمع الشمسي في جاكيت يحيط بوعاء يحتوي على محلول لحمض الكبريت في الماء ، ويتبخر الماء ويتكاثف في وعاء آخر يبرد بواسطة الماء القادم من خزان معزول



يغلق صمام يفصل بين الوعائين عند انتهاء مرحلة الشحن ، ويبدأ وعاء الحمض بالبرود مسبباً انخفاض الضغط في هذا الوعاء .



يفتح الصمام عند الحاجة إلى الحرارة ويمرر الماء الساخن القادم من الخزان المعزول مسبباً تبخر الماء وتكاثفه وانحلاله من جديد في حمض الكبريت ناشراً حرارة التكاثف وحرارة الانحلال والتي تستخدم في تدفئة المنزل بنقلها إلى الماء الذي يمرر في الجاكيت المحيط بوعاء حمض الكبريت .



يظهر الشكل الشبكة بكاملها :

(1) وعاء حمض الكبريت ، (2) وعاء الماء ، (3) شبكة التدفئة داخل المنزل ، (4) المجمع الشمسي ، (5) الخزان المعزول .

شكل (2) .

المراجع

1- Thomson, H, E, Solar Houses and Solar Houses Models, Edmond Scientific Co, Barington. N. J.

2- Brenda and Roberts Vale, The Autonomous House, Thames and Hudson, London.

3- Speyer, E, Solar Buildings in Temperate and Tropical Climates, Proceedings of Conference on New Sources of Euergy. United Nations.