# إمكانية استخدام بعض المحاليل الملحية لتخزين الطاقة في منظومة تبريد شمسية عوضاً عن البطاريات الحمضية *

د. علي أحمد نصر

**مقدمة**

**العائق الرئيسي في عدم انتشار استعمال الثلاجات الشمسية الفوتوفولتية (PV) لحفظ اللقاحات والأمصال في المناطق النائية (المناطق المعزولة) هو ارتفاع أسعارها وتكاليف صيانتها. يرجع ذلك لاعتماد هذه المنظومات في الوقت الحالي أسلوب التخزين الكهروكيماوي (البطاريات الحمضية). من عيوب هذه البطاريات، ارتفاع سعر شرائها وتعقيد دائرة شحنها وثقل وزنها إضافة إلى الحاجة إلى فحصها الدوري واستبدالها كلما دعا الأمر [1]. هذا القصور إضافة إلى عوامل أخرى دعت إلى التفكير في البحث عن بديل لهذا الأسلوب لتخزين الطاقة في هذه المنظومات.**

لقد أشارت منظمة الصحة العالمية إلى أن إيجاد البديل للبطاريات الحمضية في منظومات الثلاجات الفوتوفولتية المستخدمة لحفظ الأمصال والأدوية في المناطق التي لا يتوفر بها مصدر مستقر وثابت للطاقة الكهربية سوف يفتح الباب على مصراعيه لاستعمال هذا النوع من الثلاجات ويساهم دون شك في إنقاذ حياة الكثير من الأطفال وسلامتهم من الإعاقات والتشوهات الخلقية بتوفير الكميات اللازمة والملائمة لهم ولأمهاتهم من الأمصال واللقاحات، كل ذلك معقود على أمل انخفاض سعر هذه الثلاجات المقدر بخمسة آلاف دولار أمريكي.

لعل الأسلوب المرشح بديلا لأسلوب التخزين الكهروكيماوي في مثل هذه المنظومات هو التخزين الحراري (Thermal or Coolness Storage) حيث يقوم الوسط المختار بامتصاص الطاقة الحرارية غير المرغوب فيها داخل الثلاجة أو المجمدة أثناء انعدام أو انخفاض مصدر الطاقة والمحافظة على درجة الحرارة في المدى المسموح به. من ضمن التحديات التي تواجه هذا الأسلوب المستحدث المواصفات الصارمة المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية بضرورة المحافظة على درجة حرارة اللقاحات بين 0–8 م° وضرورة إنتاج كمية من الثلج يوميا تستخدم عند نقل



* ورقة مقدمة للندوة العلمية حول الطاقة الشمسية 25–1995/05/26 براك – الجماهيرية

● كلية الهندسة – هون – الجماهيرية

اللقاحات بين المركز الصحي والمناطق المجاورة. الثلاجة مقدر لها أن تستخدم في مناطق قارية تصل درجة الحرارة فيها إلى 43 م° خلال النهار و 16م° خلال الليل. كل هذه المصاعب تأتي على حساب الحجم وجودة المادة المستخدمة للعزل الحراري داخل جدران الثلاجة.

هذه الورقة تقدم عرضاً لدراسة أجريت على بعض المحاليل وبالتحديد على محلول بيكربونات الأمونيوم ومحلول كلوريد البوتاسيوم مع إضافة نسبة قليلة من كلوريد الأمونيوم لكل منهما على حدة وذلك لإمكانية استخدامهما في مخزن حراري لثلاجة فوتوفولتية مستخدمة في حفظ الأمصال بمنطقة نائية.

## الثلاجات المستخدمة في حفظ اللقاحات

في بداية البحث تم حصر جميع أنواع الثلاجات المستخدمة في حفظ اللقاحات في المناطق النائية، فكانت محصورة في ثلاجات الكيروسين والثلاجات الشمسية بأنواعها، وبعد تحديد سعة الثلاجة قيد الدراسة، وجد أن أنسب هذه الأنواع الثلاجة الفوتوفولتية [2].

## المخزن الحراري (Thermal or Coolness Storage)

المخزنات الحرارية نوعان إما أن تكون الحرارة المخزنة محسوسة (Sensible Heat Storage) وهي التي ترتفع أو تنخفض درجة حرارة وسط التخزين بارتفاع أو انخفاض كمية الطاقة الحرارية المخزنة. والنوع الآخر هو الذي لا تتأثر فيه درجة حرارة الوسط بإضافة أو سحب الطاقة الحرارية الكامنة للوسط (Latent Heat Storage)، ولكل نوع من هذه الأنواع خصائصه واستعمالاته.

النوع الأخير من المخزنات إما أن يكون بواسطة تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة أو العكس، أو بتحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية أو العكس، أو بتحول المادة الصلبة من شكل بلوري إلى شكل بلوري آخر.

اخترنا في هذه الدراسة وسط التخزين الذي يتم فيه تحويل المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة في شوط الشحن، والعكس في طور امتصاص الحرارة وذلك لملاءمته للظروف من حيث درجة الحرارة والحيز الذي يشغله (كثافة تخزين عالية) إضافة إلى أمور أخرى مثل السلامة وتوفر مثل هذه الأملاح في الأسواق المحلية وبأسعار مقبولة.

لقد أجريت العديد من الأبحاث في السابق على الكثير من الأملاح وفي منظومات مختلفة في مجال الطاقة الشمسية مثل تلك التي أجراها [3] حيث كانت النتائج المعملية في أغلب الأحيان مطابقة للتوقعات النظرية لمعرفة معدلات الانصهار للمواد المستخدمة. بينما قام [4] بدراسة نظرية على عملية الانصهار في الاتجاهين الرأسي والأفقي لمادة متجمدة بغرض أن تنتقل الحرارة بطريق تيارات الحمل في الجزء المنصهر باستثناء المنطقة المجاورة للمادة الصلبة في القاع حيث افترض انتقال الحرارة بالتوصيل.

أشارت النتائج إلى تطابقها مع الدراسات النظرية السابقة [5] والتجارب المعملية [6] كما أفادت المقارنة وجود التشابه من حيث طبيعة انتشار جبهة الانصهار ونسب الكميات المنصهرة. كما أجرى [3] تجاربه لمعرفة تأثير الشكل الهندسي للوعاء فوجد أن معدل الطاقة المخزنة يتناسب طردياً مع ارتفاع الوعاء، كما استنتج أن كمية الطاقة المخزنة في الصورة الكامنة تمثل 95%، و5% طاقة محسوسة.

وفي عام 1981ف نشر [7] دراسة أجريت على عدد كبير من الأملاح إلا أن نتائج الدراسة كانت استثناء العديد من تلك المركبات واقتصرت المواد الصالحة على ما ورد في الجدول رقم (1). استبعاد تلك المواد كان إما لانخفاض معدل التبلر أو لحدوث ترسبات خلال مرحلة التجميد أو لهبوط درجات الحرارة تحت درجة التجمد في بعض المواقع قبل استكمال التجمد.

ولتحسين خواص هذه المركبات، خصوصاً إيجاد التجانس أثناء عملية التجميد (للمحافظة على جدران الوعاء من التشقق خاصة عند الزوايا)، أجريت عدة تجارب بإضافة نسب صغيرة ومختلفة لعدة مركبات لها درجات انصهار منخفضة، كانت نتائجها كما هو موضح في جدول رقم (2).

## تحضير المحاليل في المعمل

تم إعداد وتحضير المحلولين المراد اختبارهما حسب المعايير المطلوبة من حيث التركيز ونسب الأحجام الواردة في الجدول رقم (2)، حيث أضيفت نسبة بسيطة من كلوريد

جدول رقم (1) المواد المخزنة للحرارة الكامنة والبيانات المتعلقة بها لأغراض التبريد

| التركيب | وزن الملح % | نقطة التصلب °C | الكثافة عند 20°C | | التغير في الحجم % $\Delta V_{l-s}$ | الحرارة النوعية $Cp_l$ kJ/Kg.°K | حرارة الانصهار kJ/m³ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | صلب gm/cm³ | سائل gm/cm³ | | | |
| $Ca(NO_3)/H_2O$ | 42.9eut | −28.7 | | | | | |
| $Al(NO_3)_3/H_2O$ | 30.5 eut | −27.0 | | 1.283 | 4.3 | 2.47 | 168700 |
| $NH_4F/H_2O$ | 32.3 eut | −26.5 | | 1.096 | 9.4 | 3.27 | 217100 |
| $KF/H_2O$ | 21.5 eut | −21.8 | | 1.194 | 5.9 | 3.40 | 268900 |
| $NaCl/H_2O$ | 22.4 eut | −21.2 | | 1.165 | | | 241400 |
| $NaNO_3/H_2O$ | 36.9 eut | −18.5 | | 1.29 | | | 273200 |
| $(NH_4)_2SO_4/H_2O$ | 39.7 eut | −18.5 | | 1.22 | | | 194100 |
| $NH_4Cl/H_2O$ | 19.5 eut | −16.0 | 1.02 | 1.059 | 4.4 | 3.2 | 291500 |
| $KCl/H_2O$ | 19.5 eut | −10.7 | 1.052 | 1.126 | 7.3 | 3.24 | 298000 |
| $ZnSO_4/H_2O$ | 27.2 eut | −6.5 | | 1.34 | | | 201400 |
| $NH_4H_2PO_4/H_2O$ | 16.5 eut | −4.0 | 1.044 | 1.092 | 4.8 | 3.64 | 171700 |
| $MgSO_4/H_2O$ | 19.0 eut | −3.9 | 1.152 | 1.208 | 5.3 | 3.31 | 250200 |
| $NH_4HCO_3/H_2O$ | 9.5 eut | −3.8 | 0.992 | 1.036 | 4.7 | 3.81 | 283800 |
| $NaF/H_2O$ | 3.9 eut | −3.5 | 0.958 | 1.04 | 8.3 | 3.85 | 309200 |
| $KNO_3/H_2O$ | 9.7 eut | −2.8 | 0.992 | 1.068 | 7.6 | 3.61 | 278500 |

المصدر : (Schroder J. and Gawton K. 1981)

جدول رقم (2) عينات من الوسط المخزن مع الإضافات

| الوسط المخزن | نقطة الانصهار °C | الوزن % | الوسط المضاف | الوزن % | نقطة الانصهار °C | الحجم المضاف % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2O$ | 0.0 | – | $H_2O/NaF$ | 3.92 | −3.5 | 3 |
| $H_2O$ | 0.0 | – | $H_2O/NH_4Cl$ | 19.5 | −16 | 3 |
| $H_2O$ | 0.0 | – | $H_2O/NaCl$ | 22.4 | −21.2 | 3 |
| $H_2O$ | 0.0 | – | $H_2O/NaH_2PO_4$ | 32.4 | −9.9 | 3 |
| $H_2O/NH_4Cl$ | −16 | 19.5 | $H_2O/NaCl$ | 22.4 | −21.2 | 3 |
| $H_2O/KCl$ | −10.7 | 19.34 | $H_2O/MgCl_2$ | 20.60 | −33.6 | 3 |
| $H_2O/NaCl$ | −21.2 | 22.4 | $H_2O/CaCl_2$ | 30.20 | −49.8 | 3 |
| $H_2O/KCl$ | −10.7 | 19.3 | $H_2O/NH_4Cl$ | 19.5 | −16 | 3 |
| $H_2O/NaF$ | −3.5 | 3.9 | $H_2O/KF$ | 21.5 | −21.8 | 3 |
| $H_2O/KNO_3$ | −2.8 | 9.7 | $H_2O/Mg(NO_3)_2$ | 32.4 | −31.9 | 3 |
| $H_2O/Na_2CO_3$ | −2.1 | 5.9 | $H_2O/KHCO_3$ | 16.5 | −5.4 | 3 |
| $H_2O/NH_4HCO_3$ | −3.8 | 9.5 | $H_2O/NH_4Cl$ | 19.5 | −16 | 3 |
| $H_2O/KHCO3$ | −5.4 | 16.5 | $H_2O/K_3PO_4$ | 38.3 | −24 | 3 |
| $H_2O/KHF_2$ | −7.6 | 16.5 | $H_2O/KF$ | 21.5 | −21.8 | 3 |
| $H_2O/MgSO_4$ | −3.9 | 19 | $H_2O/Mg(NO_3)_2$ | 32.4 | −31.9 | 3 |
| $H_2O/ZnSO4$ | −6.5 | 27.2 | $H_2O/Mg(NO_3)_2$ | 32.4 | −31.9 | 3 |

المصدر : (Schroder J. and Gawton K. 1981)

الأمونيوم إلى كل من محلول كلوريد البوتاسيوم ومحلول بيكربونات الأمونيوم وذلك لضمان عملية تجانس التبلر وانتظامه خلال فترة التجمد.

لتحضير العينات المراد اختبارها أذيب جرام واحد من كلوريد البوتاسيوم مع 6 جرامات من كلوريد الأمونيوم في 807سم$^3$ من الماء النقي لتحضير المحلول الأول و 92 جرام

بيكربونات الأمونيوم مع 6 جرامات من كلوريد الأمونيوم في 902سم$^3$ من الماء النقي لتحضير المحلول الثاني. [2]

## خطوات العمل

الهدف من إجراء هذه الاختبارات كان التعرف على خواص هذه المحاليل خلال فترة الانصهار والتأكد من المعلومات الواردة عنها في الأبحاث السابقة، وذلك لاعتمادها كوسط تخزين في المنظومة المشار إليها أعلاه. مجموعة التجارب التي أجريت ملخصة في الجدول رقم (3).

أثناء التجمد. ثم يوضع الوعاء المحتوي على المحلول في مجمدة تحت درجة −21 م° لعدة أيام لضمان تجمد المحلول بالكامل. عند إجراء التجارب وضع الوعاء بحيث يحاط بهواء الغرفة من جميع الجهات لضمان تساوي الظروف في كل التجارب قدر الإمكان.

## منحنيات التسخين

من خلال النتائج المتحصل عليها وكما هو واضح من الشكلين 1 و 4 ، ارتفعت درجات حرارة المنظومة بسرعة

**جدول رقم (3) قائمة التجارب**

| رقم التجربة | مادة تغير الطور | الأوصاف |
|---|---|---|
| 1 | $NH_4HCO_3 + NH_4Cl$ | عملية الانصهار والقنينة ممددة في وضع أفقي |
| 2 | $NH_4HCO_3 + NH_4Cl$ | عملية الانصهار والقنينة ممددة في وضع عمودي |
| 3 | $KCl + NH_4Cl$ | عملية الانصهار والقنينة ممددة في وضع أفقي |
| 4 | $KCl + NH_4Cl$ | عملية الانصهار والقنينة ممددة في وضع عمودي |

الوعاء المستخدم عبارة عن علبة من اللدائن الرقيق مقطعها على شكل مربع سعته لتر واحد. ثبت ثلاث مزدوجات حرارية على مسافات متساوية في المستوى الرأسي المار بمحور العلبة وذلك لقراءة درجات الحرارة في تلك النقاط خلال فترة الانصهار. وصلت أطراف المزدوجات بجهاز (Data Logger) لقراءة وتسجيل درجات الحرارة خلال تلك الفترة وباستمرار. كل التجارب أجريت في حجرة درجة حرارتها 22 م°.

قبل إجراء أي تجربة وفي كل مرة كانت تملأ العلبة بالمحلول المراد اختباره إلى الثلثين لترك مجال لتمدد المحلول

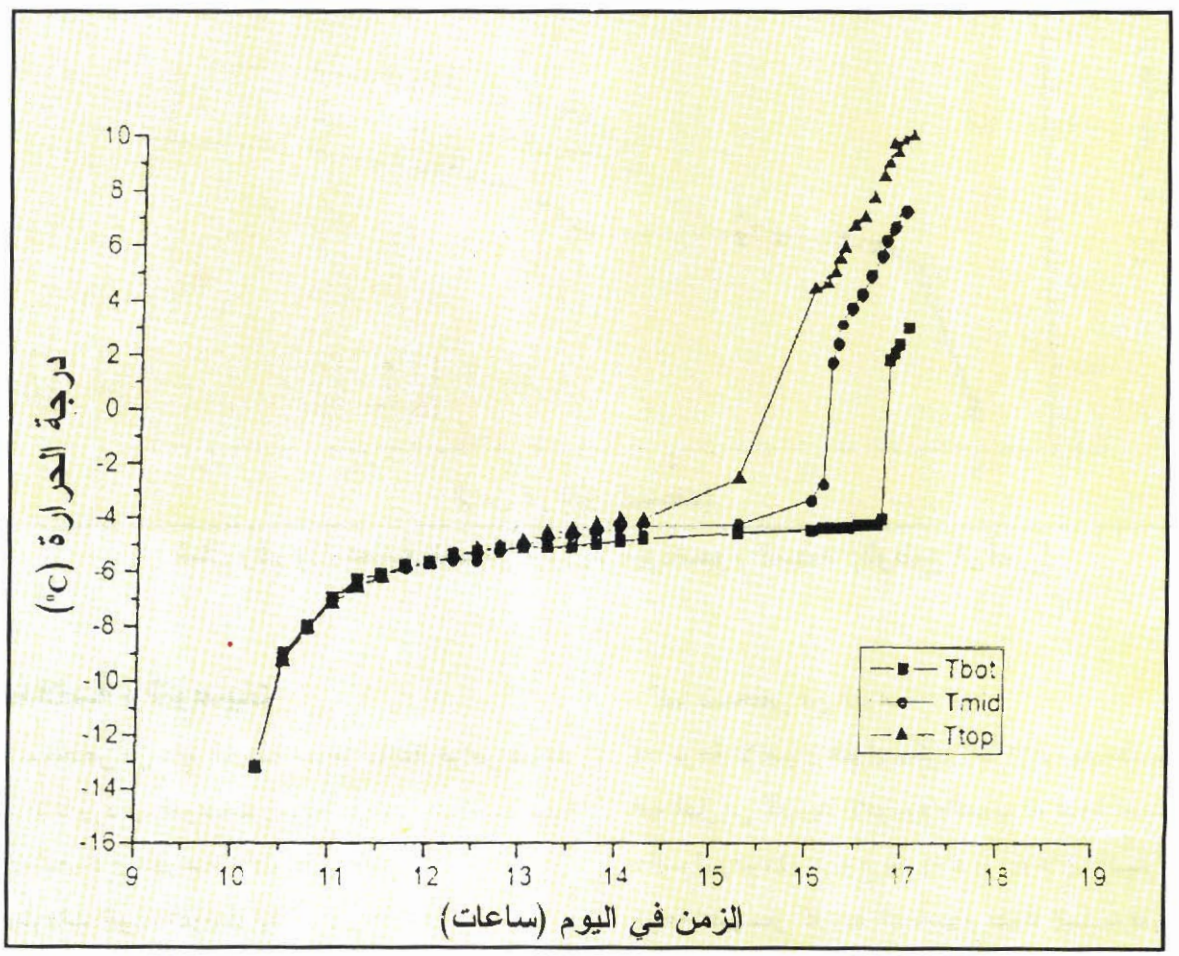
في البداية من درجة الحرارة المنخفضة جدا إلى درجة حرارة أعلى قريبة من درجة الانصهار. ثم استقرت نسبيا فترة من الزمن، بعدها لوحظ ارتفاع شديد في درجة حرارة المنظومة من جديد. الجدير بالذكر أن نتائج مشابهة لهذه النتائج لمواد أخرى قد نشرت في السابق مثل تلك التي عرضها [8] لحامض البلمتيك. فترة شبه الاستقرار في درجة الحرارة في كل هذه المنحنيات تشير إلى الزمن المستغرق خلال فترة الانصهار.

كذلك ، درجة حرارة المادة المنصهرة عند أي نقطة واقعة تحت تأثير عاملين أثنين: الأول هو معدل الطاقة الحرارية الممتصة لغرض الصهر والثاني هو معدل الطاقة

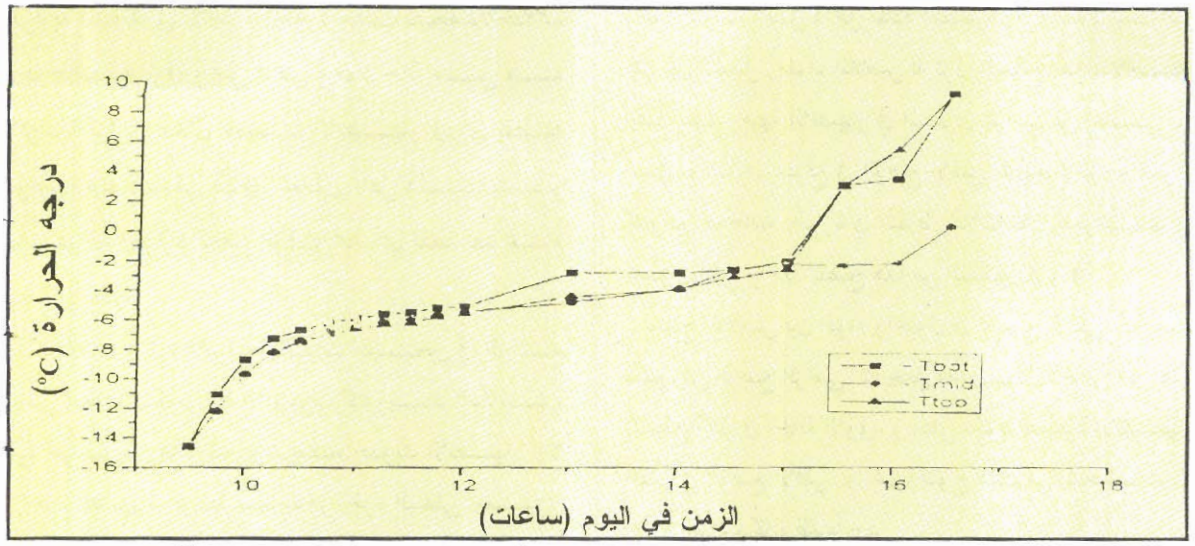
الحرارية المنتقلة إلى الأجزاء المجاورة وذلك نتيجة للاختلاف في درجات الحرارة، وعلى فرض وجود حالة من شبه الاتزان الحراري خلال عملية الانصهار في أي نقطة (موضع) فإنه لابد من تكافؤ المعدلين. لعل ذلك يفسر ثبوت درجة الحرارة لبعض الوقت عند أي نقطة بعد تمام عملية الانصهار.

الشكلان 1 و 3 يمثلان منحنيات التسخين في الوضع الرأسي للعلبة، لبيكربونات الأمونيوم وكلوريد البوتاسيوم على الترتيب. من هذه المنحنيات يتضح حدوث الانصهار أولاً في الجزء العلوي ثم الوسط بينما يتأخر الجزء السفلي. يعزى ذلك لارتفاع معدلات انتقال الحرارة في الأجزاء العلوية بسبب وجود تيارات الحمل داخل المادة المنصهرة ولوجود تيارات حمل بين السائل والهواء الملامس له فوق السطح. من الملاحظ أيضاً انتشار جبهة الانصهار في المستوى الرأسي من أعلى إلى أسفل. وكما هو متوقع في الوضع الأفقي للعلبة، لا يوجد فرق كبير بين درجات الحرارة في النقاط الثلاث نظراً لوقوعها في مستوى أفقي واحد. يتضح هذا من الشكلين 2 و 4.

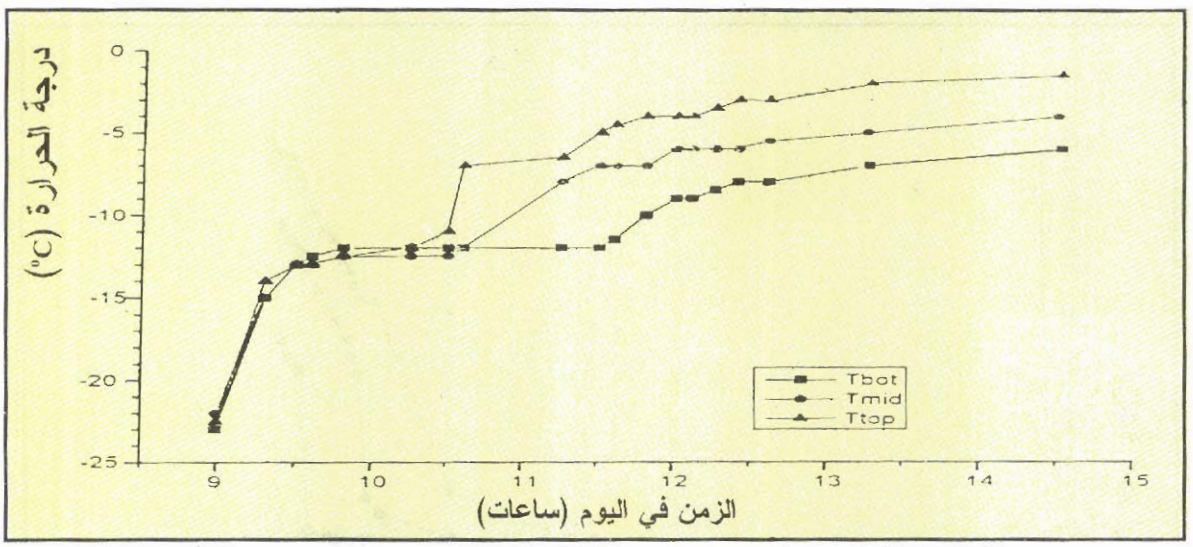
سطح التلامس بين الهواء والمحلول في الوضع الأفقي أكبر منه بكثير عن الوضع الرأسي، مما يجعل معدل تبادل الحرارة عبر هذا السطح أكبر في الحالة الأولى، وبالتالي تكون فترة الانصهار أقصر في الوضع الأفقي. ورغم وضوح ذلك من المنحنيات إلا أن الاختلاف كان طفيفاً جداً.




شكل رقم (1) عملية انصهار بيكربونات الأمونيوم المجمدة (الوضع الرأسي)




شكل رقم (2) عملية انصهار بيكربونات الأمونيوم المجمدة (الوضع الأفقي)




شكل رقم (3) عملية انصهار كلوريد البوتاسيوم المجمد (الوضع الرأسي)

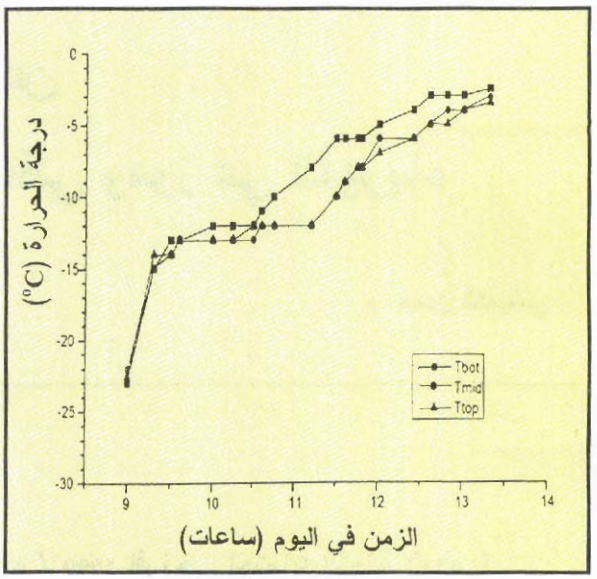
## الخلاصة والتوصيات

نستخلص من هذه الدراسة عموماً مطابقة خواص هذه المواد لما ورد في الدراسات السابقة، وبالتالي صلاحيتها للاستخدام في الدراسات تجاه تطبيق المخزنات الحرارية في منظومات التبريد الفوتوفولتية.

كما نستخلص من الدراسة:

1- درجة الانصهار لمحلول بيكربونات الأمونيوم مضاف إليه قليل من كلوريد الأمونيوم بالنسب الموضحة أعلاه بالجدول رقم (2) تتراوح بين (−4 و −6 م°). وتتراوح درجة انصهار كلوريد البوتاسيوم مضافا إليه نفس

النسبة السابقة من كلوريد الأمونيوم هي بين (-11 و -13م°).




شكل رقم (4) عملية انصهار كلوريد البوتاسيوم المجمد (الوضع الأفقي).

2- زمن الانصهار يكون أقصر عندما يكون الوعاء في الوضع الأفقي مما يؤيد استنتاج [8].

3- لا تقتصر الاستفادة من هذا النوع من المخزنات على استعمالها في ثلاجات حفظ الأمصال في المناطق النائية، بل في الإمكان استخدامها لأي غرض آخر وفي أي مكان لحل مشاكل انقطاع التيار الكهربائي أو لتحسين منحنيات الأحمال.

4- يوصي بضرورة الاستمرار في البحث لاستكمال دراسة خواص هذه المحاليل خلال مرحلة التجمد تحت ظروف مشابهة لظروف المنظومة المراد استخدام هذه المحاليل بداخلها.

## شكر وتقدير

الشكر والتقدير والعرفان بالجميل لكلية الهندسة - هون للدعم والتشجيع غير المحدود خلال فترة هذا البحث.

## المراجع


1. World Health Organization "Solar Powered Refrigerator for Vaccine storage and ice pack Freezing" EOL/ccis/85.4.
2. Nasr A. "A Battery Free Solar Refrigerator for Vaccine Storage in Remote Areas", 1997 PHD Thesis, Strathclyde University Scotland.
3. Elwerr, E. 1993 "New Mathematical Analysis Method for Solving Phase Change problems "Ms. Thesis, University of Jordan.
4. Hamadan, A. and Elwerr 1996 "Thermal Storage using a Phase Change Material" Solar Energy Vol. 56, No 2, pp. 183-189.
5. Webb, A. and Viskanta, R. 1986 "Analysis of Heat Transfer during Melting of a Pure Metal from an Isothermal Wall "Num. Heat Transfer Vol. 5, pp. 103-109.
6. Benard C. et. al. 1985 "Melting in Rectangular Enclosures, Experimental and Numerical Simulations "J. Heat transfer Vol. 197, pp. 794-802.
7. Schroder J. and Gawron K. 1981 "Latent Heat Storage" Energy Research, Vol. 5,pp. 103-109.
8. Hasan, A. 1994 "Phase Change Material Energy Storage System Employing Palmitic Acid", Solar Energy Vol. 52. No. 2pp. 143-



**ملخص**

لقد شد استخدام الثلاجات المعتمدة على الطاقة المتجددة في الآونة الأخيرة اهتمام الباحثين والهيئات ذات العلاقة، وخصوصا منها التي تستمد قدرتها من المنظومات الفوتوفولتية (PV) لحفظ الأمصال واللقاحات بالمناطق النائية. كما شهد هذا النوع من الثلاجات في نصف القرن الأخير اطرادا ملحوظا في الاستعمال إلا أنه حسب تقارير منظمة الصحة العالمية (WHO) فإن حاجة هذه الثلاجات الماسة لاستخدام بطاريات في تخزين الطاقة الكهربائية لوقت الحاجة يمثل عائقا اقتصاديا وتقنيا مما يعطي المبرر للبحث عن بديل لهذا الأسلوب من أساليب تخزين الطاقة. ولعل البديل المرشح هو التخزين الحراري بدل الكهروكيماوي. وهذا البحث هو واحد من سلسلة أبحاث سوف تنشر بأذن الله، وهو باعث للأمل في اعتماد هذا الأسلوب من أساليب التخزين للطاقة. وفي هذا البحث أجريت عدة اختبارات على عينات من المحاليل الملحية والتي اختيرت من ضمن عدد كبير من المحاليل لملاءمتها لهذا الغرض، فكانت النتائج مطمئنة ومتفقة لحد كبير مع ما سبقها من دراسات ومشجعة للقيام ببحوث أخرى في هذا المجال.