

دراسة تجريبية لآلة تبريد امتصاصية شمسية صغيرة الاستطاعة

الدكتور جابر ديبة*

(تاريخ الإيداع 26 / 9 / 2010. قُبل للنشر في 8 / 12 / 2010)

□ ملخص □

تم في هذا البحث القيام بدراسة تجريبية لآلة تبريد امتصاصية مخبرية ذات استطاعة اسمية [kW] 10 تعمل بوساطة منابع حرارية مختلفة وباستخدام محاليل ثنائية مختلفة وهي مزودة بحساسات كافية لقياس درجات الحرارة والتدفقات والضغوط في مواقع متعددة. تم تحديد خواص تشغيل الآلة لأغراض التكييف باستخدام المحلول الثنائي (الماء وبروميد الليثيوم) عند شروط حدية مختلفة، وتحليل تلك الخواص ومناقشتها. أثبتت نتائج التجارب إمكانية عمل آلة التبريد الامتصاصية الشمسية بشكل مستمر عند درجة حرارة تسخين للمولد حوالي [°C] 60 منتجة الماء البارد في المبخر بدرجة حرارة أقل من [°C] 10 ويعامل أداء (عامل إحداث برودة) تتراوح قيمته وسطياً 0,5 وهذا ما يمكننا من استخدام المجمعات الشمسية المسطحة لتشغيل تلك الآلة حيث تتميز تلك المجمعات ببساطة صنعها ورخص ثمنها.

الكلمات المفتاحية: آلة تبريد، امتصاصية، الطاقة الشمسية، الماء، بروميد الليثيوم.

*أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Experimental Study of A Small Capacity Solar Absorption Cooling Machine

Dr. Jaber Dieba *

(Received 26 / 9 / 2010. Accepted 8 / 12 / 2010)

□ ABSTRACT □

In this research, an absorption cooling system of nominal capacity 10 [kW] has been built and tested; it works by different sources of heat and by different working fluids, it is equipped with adequate sensors for measuring temperature, flows and pressures in multiple locations. The features of operating the machine for air conditioning has been determined, analyzed and discussed with the working fluid “water-Lithium Bromide” by different boundary conditions. The results of experiments proved the possibility of the work of solar absorption cooling machine continuously at the heating temperature of the generator of 60 [°C] producing cold water in the evaporator at a temperature less than 10 [°C] with a coefficient of performance 0,5 and this enables us to use Simple and cheap flat solar collectors for the operation of the machine.

Key Words: Cooling machine, Absorption, Solar Energy, Water, Lithium Bromide

* Associate Professor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

من الممكن تحويل الطاقة الحرارية الشمسية إلى طاقة كهربائية ثم تغذيتها إلى آلة تبريد انضغاطية أو جهاز تكييف هواء للحصول على التأثير التبريدي المطلوب، إلا أن هذه الطريقة لاستخدام الطاقة الشمسية في التبريد والتكييف غير مجدية اقتصادياً مما يدعو إلى ضرورة البحث عن طرق أخرى للاستفادة من الطاقة الحرارية الشمسية مباشرة بدلاً من تحويلها إلى طاقة كهربائية [1 - 3].

بما أن آلة التبريد الامتصاصية تعمل بشكل أساسي على الطاقة الحرارية ولا تحتاج إلا إلى قدر ضئيل من الطاقة الكهربائية فيمكن تشغيلها من حيث المبدأ باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية أو بشكل عام باستخدام مصادر أخرى للطاقة المتجددة الحرارية.

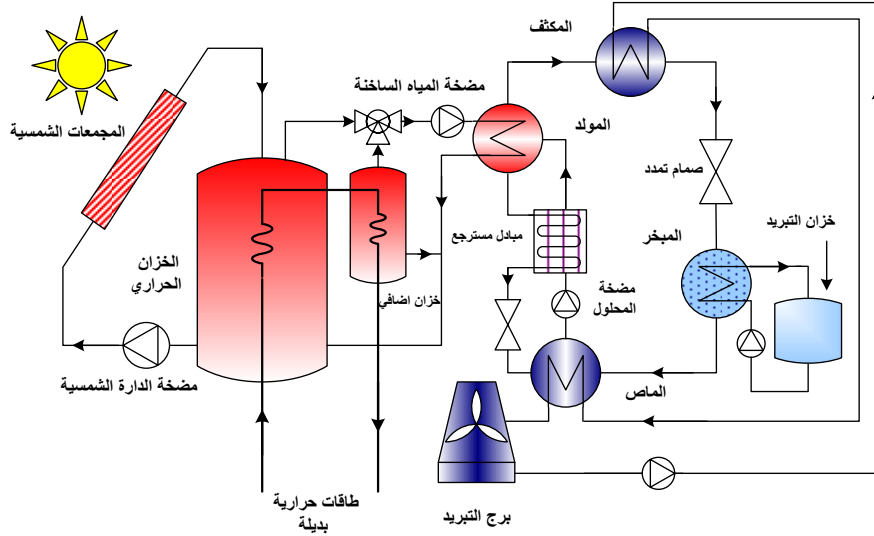
يعتمد عمل آلة التبريد الامتصاصية على سحب الحرارة من المكان المطلوب تبريده وطرحها إلى الوسط الخارجي فمن الواضح أن مبدأ العمل في هذا النظام هو الاعتماد على التبادل الحراري بين الوسيطين العاملين ولذا يجب على أحد الوسيطين أن يمتص الحرارة من الوسيط الثاني ويتبخر ومن ثم يقوم بطرح هذه الحرارة في مكان آخر (المكثف مثلاً). انطلاقاً من ذلك فإن عملية التبادل الحراري ستكون أفضل كلما كان الفرق كبيراً بين درجتي حرارة تبخر الوسيطين وبالتالي لن يكون هناك تعقيداً في عملية تصميم آلة التبريد الامتصاصية [4 - 6]

يستخدم عادة في دارة التبريد الامتصاصية محلول ثنائي يتألف من وسيط تبريد ومادة ماصة، وتتصف المادة الماصة بأن درجة حرارتها تبخرها أعلى بكثير من درجة حرارة التبخر لوسيط التبريد وأكثر المحاليل استعمالاً هي: محلول الأمونيا مع الماء باعتبار الأمونيا وسيط التبريد والماء كمادة ماصة، محلول الماء وبروميد الليثيوم (LiBr) ويعتبر الماء وسيط التبريد وبروميد الليثيوم هو المادة الماصة. يعتمد اختيار أحد هذين الوسيطين أساساً على شروط التشغيل ودرجات الحرارة المطلوبة والأحمال الحرارية المطلوب إزالتها [7].

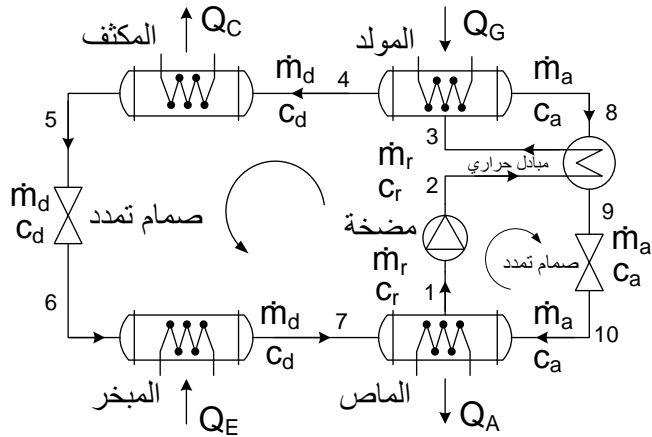
يفترض أن تكون وسائط التبريد رخيصة الثمن وأن تكون حرارتها الكامنة للتبخير عالية وأن تكون قابلة للامتصاص عند درجات حرارة تبريد منخفضة نسبياً من (20 - 40) في المادة الماصة وتكون قابلة للانفصال بشكل جزئي عن المحلول عند درجات حرارة المولد بدءاً من (60)، وبالإضافة إلى ذلك يجب أن يحقق المحلول من كلا المادتين المتطلبات الآتية:

- استقرار حراري وكيميائي لفترات طويلة من التشغيل.
 - لزوجة منخفضة عند ظروف التشغيل.
 - غير قابل للانفجار وانعدام أو انخفاض القدرة على التآكل.
 - غير سام وضار صحياً.
 - انخفاض درجة حرارة تجمده عن أقل درجة حرارة في الدارة.
 - انخفاض الحرارة النوعية.
- كما يجب أن تكون درجة حرارة تبخير المادة الماصة مرتفعة بالمقارنة مع درجة حرارة تبخير وسيط التبريد لكي تسهل عملية الفصل في المولد.

تتألف الدارة الامتصاصية البسيطة من سبعة عناصر رئيسة كما في الأشكال (2,1) وهي:



الشكل (1): مخطط توضيحي لمنشأة تبريد امتصاصية شمسية



الشكل (2): مخطط توضيحي لمكونات دائرة التبريد الامتصاصية

1- المولد:

تتم في المولد عملية توليد بخار وسيط التبريد (بخار الماء) نتيجة لغلجان محلول بروميد الليثيوم مع الماء وهو عبارة عن وعاء يوجد بداخله أنابيب يمر فيها الماء الساخن القادم من مجمع الماء الساخن في دائرة اللواقط الشمسية. تتكون أنابيب المولد من النحاس أو الستانلس ستيل وهو المفضل.

إن أقل درجة حرارة مسموح بها ضمن المولد (حسب درجة حرارة التكاثر وهي $30 [^{\circ}\text{C}]$) لتأمين تبخر وسيط التبريد هي $59 [^{\circ}\text{C}]$ وكذلك فإن أعلى درجة هي $80 [^{\circ}\text{C}]$ لمنع تبلور بروميد الليثيوم على مدخل الوعاء الماص [8]

بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المولد نجد:

$$\dot{Q}_G + \dot{m}_r \cdot h_3 = \dot{m}_d \cdot h_4 + \dot{m}_a \cdot h_8 \quad (1)$$

أما التوازن الكتلي على المولد فيعطي:

$$\dot{m}_r = \dot{m}_d + \dot{m}_a \quad (2)$$

ومنه فإن التدفق الحراري المقدم للمولد (الاستطاعة اللازمة في المولد) هي:

$$\dot{Q}_G = \dot{m}_d \cdot h_4 + (\dot{m}_r - \dot{m}_d) \cdot h_8 - \dot{m}_r \cdot h_3 \quad (3)$$

2- المبخر:

عبارة عن مبادل حراري يتم فيه تبريد وسيط التشغيل المار من وشيعة التبريد (الماء) عن طريق تساقط وسيط التبريد على حزم متعددة من الأنابيب. غالباً ما يكون مصنوعاً من النحاس أو خليطة النحاس مع النيكل، درجة حرارة المبخر المطلوب حسب درجة حرارة وشيعة التبريد هي $7 [^{\circ}\text{C}]$. بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المبخر نجد:

$$\dot{Q}_E + \dot{m}_d \cdot h_6 = \dot{m}_d \cdot h_7 \quad (4)$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المقدمة للمبخر من المكان المراد تبريده (استطاعة التبريد) هي:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_d \cdot (h_7 - h_6) \quad (5)$$

3- الماص:

عبارة عن وعاء يتم فيه امتصاص بخار الماء من قبل المحلول بعد خروجه من المبخر تنتج عن هذه العملية كمية من الحرارة تتم إزالتها عن طريق برج التبريد المربوط مع المكثف، الوعاء الماص مصنوع من الفولاذ الطري أما أنابيب التبريد فهي من خلاط النحاس مع النيكل.

إن أقل درجة حرارة مسموح بها على مخرج وعاء الامتصاص "حسب معطيات درجة حرارة كل من المكثف والمبخر" هي $30 [^{\circ}\text{C}]$ لمنع تبخر الماء في خط سحب المضخة وبالتالي توقف الآلة. بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على الماص نجد:

$$\dot{Q}_A + \dot{m}_d \cdot h_1 = \dot{m}_d \cdot h_7 + \dot{m}_a \cdot h_{10} \quad (6)$$

أما التوازن الكتلي على الماص فيعطي:

$$\dot{m}_r = \dot{m}_d + \dot{m}_a \quad (7)$$

ومنه فإن التدفق الحراري في الماص هو:

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_d \cdot h_7 + (\dot{m}_r - \dot{m}_d) \cdot h_{10} - \dot{m}_r \cdot h_1 \quad (8)$$

4- المكثف:

مبادل حراري يتم فيه تبريد بخار الماء "وسيط التبريد" القادم من المولد. يتوضع المكثف قرب المولد حيث يتكاثف بخار وسيط التبريد خارجياً على أنابيب المكثف المصنوعة من الستانلس ستيل. يتم تبريد المكثف بالهواء أو الماء وهو المستخدم في الدارة لدينا حيث إن درجة حرارة التكاثف هي $30 [^{\circ}\text{C}]$. بتطبيق مبدأ التوازن الحراري على المكثف نجد:

$$\dot{Q}_C + \dot{m}_d \cdot h_5 = \dot{m}_d \cdot h_4 \quad (9)$$

ومنه فإن معدل كمية الحرارة المطروحة من المكثف هي:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_d \cdot (h_4 - h_5) \quad (10)$$

5- المضخة:

مهمة المضخة تدوير وسيط التبريد والمحلول الماص في الدارة وتأمين فرق الضغط اللازم. من الشكل (2) نجد أن الاستطاعة الواجب تقديمها للمضخة هي:

$$W_p = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (11)$$

6- المبادل الحراري:

يقوم المبادل الحراري بعملية تسخين للمحلول بعد المضخة وقبل دخوله للمولد عن طريق التبادل الحراري بين المحلول الغني (العالي التركيز بالملح) الساخن القادم إلى الوعاء الماص والمحلول الفقير (المنخفض التركيز بالملح) بعد المضخة وذلك بهدف إنقاص كمية الحرارة المطلوبة في المولد وبالتالي تحسين معامل أداء للدارة [9 - 11]. بتطبيق مبدأ التوازن الحراري في المبادل الحراري (الشكل 2) نجد:

$$\dot{m}_r.(h_3 - h_2) = \dot{m}_a.(h_8 - h_9) \quad (12)$$

7- صماما التمدد:

يعملان على تخفيض ضغط وسيط التبريد بين المكثف والمبخر وكذلك تخفيض ضغط المحلول الغني بين المولد والوعاء الماص. بتطبيق مبدأ التوازن الحراري في صمامي التمدد نجد:

$$h_5 = h_6 \quad (13)$$

$$h_9 = h_{10} \quad (14)$$

للتأكد من صحة العلاقات السابقة تكتب معادلة التوازن الكلية لآلة التبريد الامتصاصية اعتماداً على الشكل (2)

كما يلي:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G + W_P = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \quad (15)$$

وباعتبار أن قيمة استطاعة المضخة W_P صغيرة جداً ويمكن إهمالها بالمقارنة مع الاستطاعات الأخرى وبالتالي تصبح معادلة توازن الاستطاعة بالشكل:

$$\dot{Q}_E + \dot{Q}_G = \dot{Q}_A + \dot{Q}_C \quad (16)$$

يمكن أن تضاف للدارة بعض العناصر التالية:

مانع للصدأ: عبارة عن كرومات الليثيوم أو نترات الليثيوم وذلك بهدف حماية الأجزاء الداخلية من الصدأ. يجب أن تكون درجة الـ PH لهذه الموانع مقبولة حيث يتم التحكم بدرجة الـ PH عن طريق إضافة هيدروكسيد الليثيوم.

محسّنات الأداء: تستخدم لتحسين أداء الدارة ومعامل انتقال الحرارة وأهم هذه المحسّنات هي أوكتيلات

الكحول [12].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى التشغيل الفعال والمستمر لآلة التبريد الامتصاصية عند منابع حرارية نظيفة ومتجددة مثل (الطاقة الشمسية) والاختيار الأمثل لوسيط التبريد واختباره ضمن الآلة بحيث يحقق خاصية انفصاله من المحلول الثنائي في المولد عند تقديم درجة حرارة منخفضة قدر الإمكان (حتى [60 °C]) وذلك لتمكين استخدام الطاقة الشمسية بمختلف الظروف الجوية، حيث تم إجراء قياسات تجريبية لآلة تبريد امتصاصية مخبرية خاصة ذات استطاعة تبريد أسمية 10 kW في جامعة الميناو التقنية/ قسم الترموديناميك وميكانيك الموائع أثناء إجراء بحث علمي في ألمانيا. يمكن لهذه الآلة أن تعمل بوساطة منابع حرارية مختلفة وباستخدام محاليل ثنائية مختلفة وهي مزودة بحساسات لقياس درجات الحرارة والتدفقات والضغط في مواقع متعددة لكي نستطيع مراقبة عمليات توليد البرودة ورسم منحنيات تشغيل الآلة بشكل دقيق. إن القيم المقاسة يتم تحديدها من خلال وحدة معالجة بيانات حيث يتم تحويلها إلى حاسب من أجل متابعة معالجتها وتقييمها.

في هذا البحث سيتم تحديد خواص تشغيل الآلة لأغراض التكييف باستخدام المحلول الثنائي (الماء وبروميد الليثيوم) عند شروط حدية مختلفة وتحليل تلك الخواص ومناقشتها.

طرائق البحث ومواده:

1. بناء المنشأة التجريبية:

إن المنشأة التجريبية تتألف من مجموعة اللواقط الشمسية ومجموعة التبريد الامتصاصية، كلتا المجموعتين مرتبطتان مع بعضهما من خلال خزان حراري متعدد منابع التغذية (طاقة شمسية، طاقة كهربائية، طاقات متجددة أخرى...) كما في الشكل (3)، إن المواصفات التقنية لتلك المنشأة هي:

- 1) المجموعة الشمسية (شركة SESOL): وتتكون من:
 - مجمعات شمسية مسطحة ذات مساحة 10 m^2 .
 - خزان حراري ذو حجم 2 m^3 مزود بوشائع كهربائية إضافية.
- 2) آلة تبريد امتصاصية (شركة WEGRA) وتتميز ب:
 - استطاعة التبريد 10 kW .
 - استطاعة المولد 13 kW .
 - المياه الساخنة المطلوبة لتشغيل المولد بدرجات حرارة $85/75 \text{ }^\circ\text{C}$ (من أجل كفاءة عالية للآلة).
 - مياه التبريد المقدمة من المبخر بدرجات حرارة $14/8 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - المياه الباردة المطلوب تأمينها من برج التبريد للمكثف والماس $30/35 \text{ }^\circ\text{C}$.



الشكل (3): منشأة تجريبية لآلة تبريد امتصاصية شمسية [13].

2. التجارب والقياسات العملية:

إن برنامج التجارب يضم عدداً كبيراً من القياسات التجريبية لتحديد منحنيات تشغيل الآلة عند شروط حدية مختلفة ودرجات تشغيل مختلفة. من خلال التصميم الخاص والمميز للآلة وتزويدها بالحساسات في المواقع المحددة يمكن تحديد مخططات العمليات الترموديناميكية لكافة أجزاء الآلة بشكل دقيق. لتحديد تلك المنحنيات تم تغيير قيم درجات حرارة التشغيل (درجات حرارة الماء الساخن اللازمة للمولد، درجات حرارة الماء البارد اللازمة للمكثف والماس) ومن ثم تحديد قيم الاستطاعات الحرارية الموافقة، درجة حرارة الماء البارد في المبخر وعامل إحداث البرودة [13].

لقد تم تحديد كل من البارامترات التالية كتابع للزمن ودرجات حرارة التشغيل عند كل نسق من التجارب:

Q_{ST} [kW] استطاعة الخزان الحراري (استطاعة التسخين المقدمة من الخزان إلى المولد).

Q_G [kW] استطاعة المولد (استطاعة التسخين المزودة).

Q_E [kW] استطاعة المبخر (استطاعة التبريد المنتجة).

Q_C [kW] استطاعة مياه التبريد (لتبريد المكثف والماس).

Q_{SC} [kW] استطاعة المجمعات الشمسية.

COP_R عامل إحداث البرودة لآلة التبريد الامتصاصية.

η_{con} مردود أنابيب التوصيل بين الخزان الحراري والمولد.

إن المعادلة المستخدمة لحساب الاستطاعات هي:

$$\dot{Q} = 3600 \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot C \cdot (T_e - T_a) \quad (17)$$

إن القيم المقاسة في التجارب هي درجات الحرارة في كل من مكونات المنشأة، تدفقات الموائع الداخلية والخارجية والضغط. أما العلاقات اللازمة لتحديد معامل إحداث البرودة لآلة التبريد الامتصاصية ومردود أنابيب التوصيل فهي:

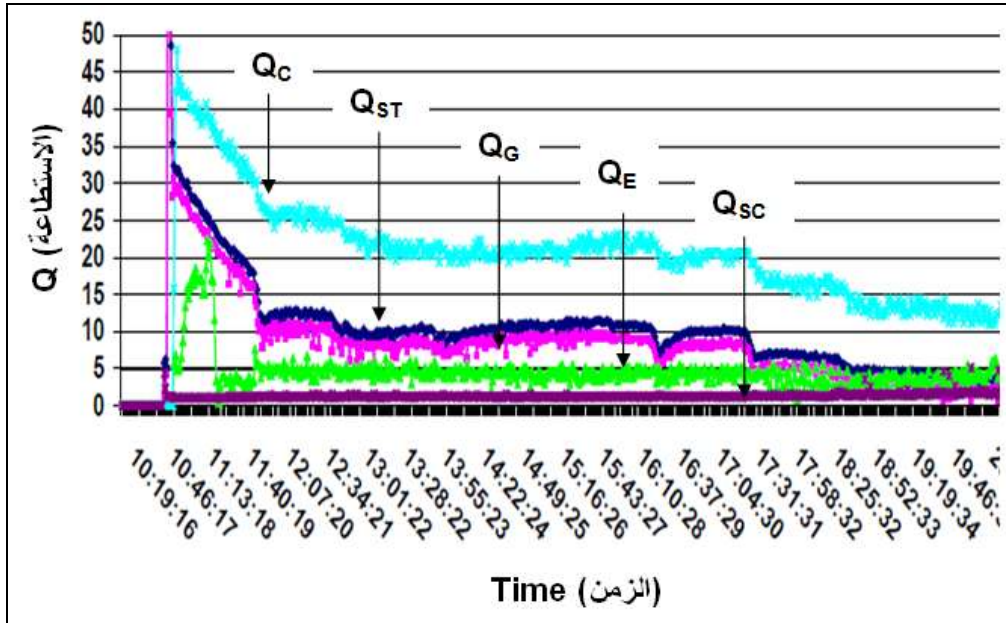
$$COP_R = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G} \quad (18)$$

$$\eta_{con} = \frac{\dot{Q}_G}{\dot{Q}_{ST}} \quad (19)$$

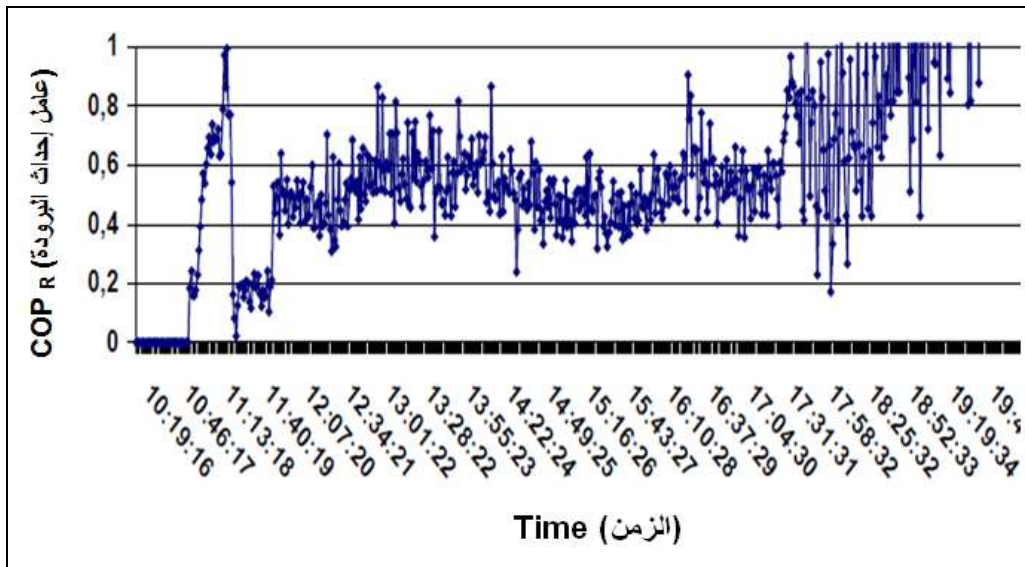
النتائج والمناقشة:

لقد تم تغيير قيم كل من البارامترات التالية (درجة حرارة التسخين في المولد، درجة حرارة التبريد لكل من المكثف والماس، تدفق المياه الساخنة في المولد، تدفق مياه برج التبريد اللازمة للمكثف والماس) كما تم تحديد الاستطاعة الحرارية ومعامل أداء الآلة عند كل حالة للبارامترات السابقة.

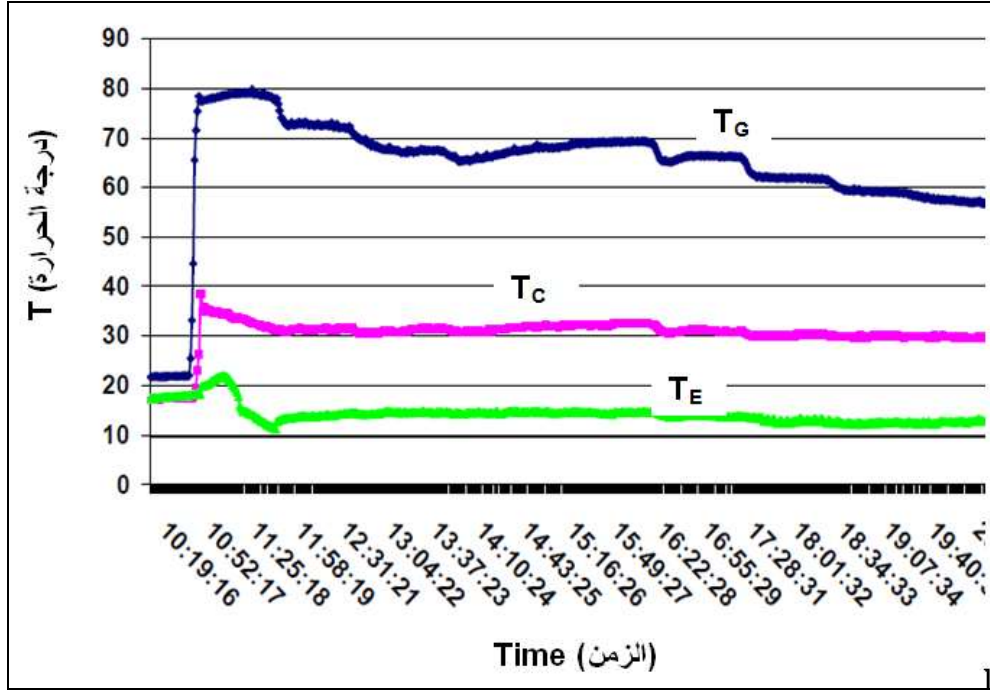
إن نتائج القياسات موضحة في الأشكال (4 - 6) حيث يبين الشكل (4) التغير الزمني للاستطاعات الحرارية للخزان الحراري والمولد ومياه تبريد المكثف والماس والمجمعات الشمسية كما يبين الشكل (5) التغير الزمني لمعامل إحداث البرودة لمنشأة التبريد الامتصاصية، أما الشكل (6) فيبين التغير الزمني لدرجات الحرارة (درجة الحرارة الوسطية لمائع تسخين المولد، درجة الحرارة الوسطية لمياه تبريد المكثف والماس ودرجة حرارة مياه التبريد المنتجة في المبخر).



الشكل (4): التغير الزمني للاستطاعات الحرارية في منشأة التبريد الامتصاصية.



الشكل (5): التغير الزمني لمعامل إحداث البرودة لمنشأة التبريد الامتصاصية.



الشكل (6): التغير الزمني لدرجات حرارة الموانع الخارجية في آلة التبريد الامتصاصية.

الاستنتاجات والتوصيات:

نلاحظ من المخططات السابقة إمكانية عمل آلة التبريد الامتصاصية الشمسية بشكل مستمر عند درجة حرارة تسخين للمولد حوالي $60 [^{\circ}\text{C}]$ بعامل أداء (عامل إحداث برودة) يتراوح وسطياً حوالي 0,5 باستخدام المحلول الثنائي (الماء مع بروميد الليثيوم) وهذا ما يمكننا من استخدام المجمعات الشمسية المسطحة لتشغيل تلك الآلة حيث تتميز تلك المجمعات ببساطة صنعها ورخص ثمنها.

كما يتضح من المخططات السابقة أن درجة حرارة الماء البارد المنتج في المبخر أقل من $10 [^{\circ}\text{C}]$ وهذا ما يمكننا استخدام تلك الآلة ضمن الشروط السابقة وباستخدام المجمعات الشمسية المسطحة لأغراض التكييف. من أجل استخدام تلك الآلة لأغراض التبريد بدلاً من التكييف يقترح تجريبها باستخدام المحلول الثنائي (الأومونيا والماء) وذلك بعد إجراء المستلزمات والتعديلات الضرورية للمنشأة واستبدال المجمعات الشمسية المسطحة بالمجمعات المفرغة التي تسمح بتأمين درجات حرارة تسخين مرتفعة للمولد.

نلاحظ من المخططات السابقة انخفاض قيم معامل أداء الآلة ويمكن التغلب على هذه المشكلة من خلال تحسين أداء المبادلات الحرارية الداخلية للمنشأة والتي تشكل المكونات الأساسية للمنشأة ويقترح هنا إجراء نمذجة ومحاكاة للنظام الإجمالي باستخدام مبادلات حرارية مختلفة ذات كفاءات مختلفة بهدف تحسين معامل إحداث البرودة للآلة.

المراجع:

- [1] ALIZADEH, S. *Multi-pressure absorption cycles in solar refrigeration: a technical and economical study*. Solar Energy Vol. 69, No. 1, 2000, S: 37 – 44
- [2] CHEN, G.; HIHARA, E. *A new absorption refrigeration cycle using solar energy*. Solar Energy Vol. 66, No. 6, 1999, S: 479 – 482
- [3] ARGENT, S.L.; BECKMAN, W.A. *Theoretical Performance of an Ammonia-Sodium Thiocyanate Intermittent Absorption Refrigeration Cycle*. Solar Energy Vol.12, 1968, S: 137-146
- [4] PITATOWSKY, I.; RIVERA, W.; ROMERO, R. J. *Thermodynamic analysis of monomethylamine-water solutions in a single-stage solar absorption refrigeration cycle at low generator temperatures*. Solar Energy Materials & Solar Cells Vol. 70, 2001, S: 287 – 300
- [5] SIERRA, F.Z.; BEST, R.; HOLLAND, F.A. *Experiments on an absorption refrigeration system powered by a solar pond*. Heat Recovery Systems & CHP Vol. 13, No. 5, 1993, S: 401 – 408
- [6] KUNZE, G. *Efficient solar cooling with an improved Ammonia- Absorption System*. Renewable Energy World, 3. Jahrgang Nr.6, 2000, S:111-112, ISSN 1462-6381
- [7] CHEN, G.; HIHARA, E. *A new absorption refrigeration cycle using solar energy*. Solar Energy Vol. 66, No. 6, 1999, S: 479 – 482
- [8] WIJEYSUNDERA, N.E. *Thermodynamic performance of solar-powered ideal absorption cycles*. Solar Energy Vol. 61, No. 5, 1997, S: 313 – 319
- [9] WIJEYSUNDERA, N.E. *An irreversible-thermodynamic model for solar-powered absorption cooling systems*. Solar Energy Vol. 68, No. 1, 2000, S: 69 – 75
- [10] SÖZEN, A. *Effect of heat exchanger on performance of absorption refrigeration systems*. Energy Conversion and Management Vol. 42, 2001, S: 1699-1716
- [11] WANG, J.; CHIEN, G.; JIANG, H. *Study on a solar-driven ejection absorption refrigeration cycle*. International Journal of Energy Research Vol. 22, 1998, S: 733 – 739
- [12] DE LUCAS, A.; DONATE, C.; VILLASENOR, J.; RODRIGUEZ, J.F. *Performance evaluation and simulation of a new absorbent for an absorption refrigeration system*. International Journal of Refrigeration Vol. 27, 2004, S: 324 – 330
- [13] AJIB, S.; NILIUS, A.; DIEBA, J.; DIAB, A.; KARNO, A. *Betriebscharakteristik einer solarthermisch betriebenen Absorptionskaeltemaschine im Kleinleistungsbereich*. 49 IWK ,2004, TU-Ilmenau 27.-30 sep.

الملحق:

جدول الرموز والمصطلحات

الواحدة	مدلول الرمز	الرمز
[kW]	استطاعة المولد	Q_G
[kW]	استطاعة المبخر	Q_E
[kW]	استطاعة الماص	Q_A
[kW]	استطاعة المكثف	Q_C
[kW]	استطاعة الخزان الحراري	Q_{ST}
[kW]	استطاعة المجمعات الشمسية	Q_{SC}
[kW]	استطاعة المضخة	W_P
[kg/s]	تدفق وسيط التبريد	m_d
[kg/s]	تدفق المحلول الفقير	m_r
[kg/s]	تدفق المحلول الغني	m_a
[kJ/kg]	الانتالبي	h
[°C]	درجة حرارة دخول المائع	T_e
[°C]	درجة حرارة خروج المائع	T_a
[-]	مردود أنابيب التوصيل بين الخزان الحراري والمولد	η_{con}
[-]	عامل إحداث البرودة لآلة التبريد الامتصاصية	COP_R
[m ³ /h]	التدفق الحجمي للمائع	\dot{V}
[kg/m ³]	الكتلة النوعية للمائع عند درجة الحرارة الوسطية	ρ
[kJ/kg.K]	السعة الحرارية النوعية الوسطية للمائع	C
[°C]	درجة حرارة المولد	T_G
[°C]	درجة حرارة المبخر	T_E
[°C]	درجة حرارة المكثف	T_C
[°C]	درجة حرارة الماص	T_A